



TUGAS AKHIR - TM091486

**RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI  
SISTEM SALURAN TERHADAP CACAT  
PENYUSUTAN (*SHRINKAGE*) PADA  
PEMBUATAN KEPALA SILINDER (*CYLINDER  
HEAD*) SINJAI (MESIN JAWA TIMUR) 650 CC  
MATERIAL ALUMINIUM ADC 12 DENGAN  
PENGECORAN PASIR (*SAND CASTING*)**

Bayu Prayoga  
NRP 2111 105 023

Dosen Pembimbing  
**Indra Sidharta, ST., M.Sc**  
Co.Pembimbing  
**Dr. Ir. Soeharto, DEA**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015



**FINAL PROJECT - TM 091486**

**BUILD AND DESIGN ANALYSIS OF SIMULATION  
GATING SYSTEM OF SHRINKAGE DEFECT AT THE  
MAKING OF SINJAI'S CYLINDER HEAD (MESIN  
JAWA TIMUR) 650 CC MATERIAL ALUMINIUM ADC  
12 WITH SAND CASTING**

**Bayu Prayoga  
NRP 2111 105 023**

**Advisor Lecturer  
Indra Sidharta, ST., M.Sc  
Co.Lecturer  
Dr. Ir. Soeharto, DEA**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2015**

**RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM  
SALURAN TERHADAP CACAT PENYUSUTAN  
(SHRINKAGE) PADA PEMBUATAN KEPALA SILINDER  
(CYLINDER HEAD) SINJAI (MESIN JAWA TIMUR)  
650 CC MATERIAL ALUMINIUM ADC 12 DENGAN  
PENGECORAN PASIR (SAND CASTING)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**BAYU PRAYOGA  
Nrp. 2111 105 023**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

1. Indra Sidharta, ST, MSc.....(Pembimbing)  
(NIP. 198006192006041004)
2. Dr. Ir. Soeharto, DEA.....(Co-Pembimbing)  
(NIP. 194809111981031001)
3. Ir. Hari Subiyanto, MSc.....(Penguji 2)  
(NIP. 196006231988031002)
4. Dr. Bambang Sudharmanta, ST, MT.....(Penguji 3)  
(NIP. 197301161997021001)

**SURABAYA  
Januari, 2015**

**RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI  
SISTEM SALURAN TERHADAP CACAT PENYUSUTAN  
(SHRINKAGE) PADA PEMBUATAN KEPALA SILINDER  
(CYLINDER HEAD) SINJAI (MESIN JAWA TIMUR) 650 CC  
MATERIAL ALUMINIUM ADC 12 DENGAN  
PENGECORAN PASIR (SAND CASTING)**

**Nama Mahasiswa** : Bayu Prayoga  
**NRP** : 2111 105 023  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Indra Sidharta, ST. M.Sc.

***Abstrak***

*Kepala silinder merupakan komponen penting dalam mesin otomotif yang berfungsi sebagai atap ruang bakar, kedudukan injector, kedudukan poros (cam shaft), saluran gas masuk dan keluar, juga saluran air pendingin dan pelumasan. Dalam pembuatan kepala silinder menggunakan material dari aluminium ADC 12 melalui proses pengecoran. Aluminium banyak digunakan pada industri otomotif untuk mengurangi berat secara keseluruhan pada mesin. Penelitian pada material aluminium umumnya digunakan dalam bentuk paduan karena aluminium murni memiliki kekuatan dan kekerasan yang sangat rendah. Oleh karena itu ditambah unsur paduan untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya. Ada sekitar 85% sampai 90 % jumlah paduan yang digunakan pada industri otomotif adalah ADC12 (tatanama menurut JIS /Japan Industri Standard).*

*Pada penelitian ini dilakukan dengan cara memodelkan produk cor kepala silinder (cylinder head) secara 3D, kemudian melakukan pengecoran secara simulasi software dan aktual dengan 2 ingate untuk validasi pengecoran, serta mengaplikasikan perbedaan diameter riser pada open riser di produk cylinder head. Dimensi awal dari open riser yang digunakan yakni sebesar  $\phi$  20 x 115 mm. Kemudian dilakukan perbaikan pada variabel bebas*

*dari perencanaan pengecoran yakni memperbesar diameter riser pada open riser. Perbaikan dilakukan hingga mengurangi terjadi cacat shrinkage pada produk cor dengan mengoptimasi dimensi dari variabel tetap secara simulasi software.*

*Dari penelitian ini didapatkan data hasil simulasi software dan validasi dari eksperimen berupa letak dan persentase cacat shrinkage yang terjadi pada produk cor dengan sistem 2 saluran metode open riser. Dari data tersebut selanjutnya dilakukan analisa dan validasi, serta dilakukan perbaikan dengan memperbesar volume dan diameter riser, kemudian diambil kesimpulan mengenai dimensi dari riser yang efektif untuk mencegah terjadinya cacat shrinkage pada pengecoran cetakan pasir dengan material aluminium ADC12.*

***Kata Kunci :*** Aluminium ADC 12, Cylinder Head, Open Riser, Shrinkage, Simulasi.

# **BUILD AND DESIGN ANALYSIS OF SIMULATION GATING SYSTEM OF SHRINKAGE DEFECT AT THE MAKING OF SINJAI'S CYLINDER HEAD (MESIN JAWA TIMUR) 650 CC MATERIAL ALUMINIUM ADC 12 WITH SAND CASTING**

**Name** : Bayu Prayoga  
**ID** : 2111 105 023  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Advisor Lecturer** : Indra Sidharta, ST., M.Sc

## ***Abstract***

*The cylinder head is an important component in automotive engine that serves as the roof of the combustion chamber, the injector holder, the cam shaft, the gas channel in and out, as well as cooling and lubrication drains. In the manufacture of cylinder heads using the material of aluminum ADC 12 through the casting process. Aluminum is widely used in the automotive industry to reduce the overall weight of the machine. Research on aluminum material is generally used in the form of pure aluminum alloy for strength and hardness are very low. Therefore adding alloy elements to improve the mechanical strength. There are approximately 85% to 90% the amount of alloy used in the automotive industry is ADC12 (nomenclature according to JIS / Japan Industrial Standard).*

*In this study done by modeling the cylinder head castings in 3D, and then do the casting simulation software and the actual basis with 2 ingate for validation casting, as well as applying the difference in diameter riser on the open riser in the product cylinder head. Initial dimensions of the open riser is used which is equal to  $\phi 20 \times 115$  mm. Then do the repairs on the independent variables from the foundry planning to enlarge the diameter of the riser at the open riser. Improvements were made to reduce*

*shrinkage defects in castings to optimize the dimensions of the variable remains in simulation software.*

*From this study, is get the data of simulation software such as location and the percentage of shrinkage defects that occur in cast products with method 2 gate system, as well as the effect of the application of the open method of the riser at the top riser. From these data further analysis and validation, as well as improvement to increase the volume and diameter of the riser, and then drawn conclusions about the dimensions of effective riser to prevent shrinkage defects in sand casting with metal material ADC 12.*

**Key word :** *Alumunium ADC 12, Cylinder Head, Open Riser, Shrinkage, Simulation.*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkuliahan.

Adapun keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Indra Sidharta, ST , M.Sc.** dan Bapak **Dr.Ir. Soeharto, DEA** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran serta bimbingannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc,Eng,Ph.D** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak **Ir.J.Luby** selaku dosen wali yang telah memberi bimbingannya selama kuliah di Teknik Mesin.
4. Bapak **Arif Wahyudi,ST.,MT., Ph.D** selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Bapak **Dr.Ir. Soeharto, DEA**,Bapak **Ir.Hari Subiyanto, M.Sc**, dan Bapak **Dr. Bambang Sudharmanta,ST.,MT** yang telah memberikan saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Bapak **Eddy Soenyoto** selaku Pemilik PT.ICCI beserta keluarga yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan pengecoran *cylinder head* dll.
7. Bapak **Jumali** dan Bapak **Eko** beserta rekan-rekan yang lain **dari** departemen pola yang telah banyak membantu



dan mengajari saya dalam merancang membuat pola dengan baik dan benar selama saya di PT.ICCI.

8. **Bapak Djarot** dan team selaku pembuat model cetakan pasir beserta rekan-rekan di lapangan yang telah banyak sekali membantu dalam proses pengerjaan selama ini di PT.ICCI.
9. Bapak **Fredy** selaku direktur PT.IZUMI yang telah membantu dalam proses pengerjaan machining dies cylinder head.
10. Bapak **Rukmono** selaku departemen design and machining PT.IZUMI.
11. Keluarga Besar **Bustamam Effendi** atas doa dan dukungannya.
12. **Papah, Abang, Kakak,** dan **Adik** yang tercinta yang selalu memberikan cinta kasih, doa dan dukungannya kepada saya.
13. **Teman – teman seperjuangan Lintas Jalur angkatan 2011 & 2012** semester genap atas segala canda, tawa, dan ilmu dibagikan selama ini.
14. Teman-teman **Lab.Motor Bakar, Dimas, Brozz,** dan **Adi(Ucok),** Muara yang telah banyak membantu dalam proyek cylinder head.
15. **Bram, Warda, Irma, Miftah, Eponk, Mas Awan Wahyu Prakoso dan Baim dan** sebagai Tim penyemangat tugas akhir teknik cor atas bantuan dan kerjasamanya.
16. Teman sejati seperjuangan tugas akhir **Achmad Fahrudin** yang telah banyak sekali membantu sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
17. Teman-teman kontrakan **Yogi Ardiansyah, Slamet Riyadi, Gladi, Angga, Erwin,** dan **Ucu** terima kasih guys kalian penyemangat sekaligus saudara yang tidak akan pernah saya lupakan
18. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL (Versi Bahasa Indonesia)</b>	
<b>COVER DALAM (Versi Bahasa Inggris )</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Laporan .....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kepala Silinder ( <i>Cylinder Head</i> ) .....	7
2.2 Aluminium ADC 12.....	8
2.3 Paduan Al-Si-Cu.....	11
2.4 Pola Cetakan .....	13
2.4.1 Bahan dan Macam Pola.....	14
2.4.2 Macam pola.....	15
2.4.3 Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan pola.....	16
2.4.4 Peralatan Pembuatan Pola .....	17
2.4.5 Bidang Pisah ( <i>Parting line</i> ).....	18
2.4.6 Penambahan penyusutan pola .....	18
2.4.7 Kemiringan pola.....	18
2.5 Inti.....	18
2.6 Cetakan dengan cara kotak panas .....	20
2.6.1 Pasir untuk cara kotak panas.....	21
2.7 Sistem Saluran ( <i>Gating System</i> ) .....	21
2.8 Faktor-faktor penting dalam proses penuangan .....	25
2.8.1 Penentuan tambahan penyusutan .....	30
2.8.2 Penentuan tambahan penyelesaian mesin .....	31
2.8.3 Kemiringan pola.....	32

2.8.4 Tebal dinding minimum coran .....	32
2.8.5 Sudut siku dan tajam .....	33
2.8.6 Toleransi ukuran dari tebal dan panjang .....	33
2.9 Aliran Logam Cair .....	33
2.10 Merancang sistem saluran .....	34
2.10.1 Merancang Riser .....	37
2.11 Proses Solidifikasi .....	39
2.12 Sistem Saluran Menurut Standar AFS .....	40
2.13 Macam-Macam Cacat Coran .....	40
2.13.1 Rongga Udara .....	41
2.13.2 Retakan .....	42
2.13.3 Penyusutan ( <i>shrinkage</i> ) .....	43
<b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....	47
3.1 Flow Chart Penelitian .....	47
3.2 Pengamatan Lapangan .....	49
3.3 Studi Literatur .....	49
3.4 Perumusan Masalah .....	50
3.5 Simulasi dengan Menggunakan Software Flow-3D Casting .....	50
3.6 Material Benda Cor .....	50
3.7 Data Awal Cetakan dan Material .....	51
3.8 Perencanaan Perancangan dan Pembuatan Cetakan <i>Dies</i> <i>Dies Cylinder Head</i> .....	51
3.9 Pembuatan Sistem Saluran .....	51
3.10 Pembuatan Pola .....	52
3.10.1 Tahap Pembuatan Pola Mould Dies .....	54
3.10.2 Tahap Pembuatan Pola Cetakan Dengan Epoxy .....	56
3.11 Pembuatan Inti/ <i>Core</i> .....	59
3.12 Pasir Cetak .....	62
3.13 Pembuatan Pola Cetakan .....	63
3.13.1 Persiapan Pola .....	64
3.13.2 Pencampuran Pasir Cetak .....	65
3.13.3 Pembuatan Cetakan Pasir .....	65
3.13.3.1 Pembuatan Cetakan Pasir .....	65
3.13.3.2 Pembuatan Cetakan Untuk Pola Positif .....	66
3.13.3.3 Pembuatan Cetakan Bagian Atas/Frame .....	67
3.13.4 Tahap Pemasangan Inti ke Dalam Cetakan .....	69
3.14 Persiapan Alat dan Bahan .....	70
3.15 Pemodelan Dalam Bentuk 2D dan 3D .....	71
3.16 Simulasi Software .....	72

3.17 Sistem Saluran Masuk ( <i>Gating System</i> ).....	73
3.18 Pelaksanaan Peleburan Aluminium .....	74
3.19 Hasil Pengecoran Produk <i>Cylinder Head</i> .....	77
3.20 Langkah-Langkah Penelitian .....	78
3.21 Pengamatan Cacat Pada <i>Cylinder Head</i> .....	79
3.22 Analisa Hasil dan Pembahasan .....	80
3.23 Kesimpulan dan Saran .....	81
<b>BAB 4 DATA HASIL SIMULASI DAN EKSPERIMEN</b>	
<b>SISTEM SALURAN CYLINDER HEAD</b> .....	83
4.1 Data Awal Benda Pengecoran <i>Cylinder Head</i> .....	83
4.2 Perencanaan Sistem Saluran .....	84
4.2.1 Perhitungan Satu Saluran Masuk .....	85
4.2.2 Perhitungan Dua Saluran Masuk.....	89
4.2.3 Perhitungan Tiga Saluran Masuk.....	93
4.3 Perencanaan <i>Riser</i> .....	83
4.3.1 Perencanaan <i>Riser</i> dengan Pendekatan <i>Foseco Non-Ferrous</i> .....	51
4.3.2 Perencanaan <i>Riser</i> dengan Pendekatan Teori.....	51
<b>BAB 5 TAHAP PELAKSANAAN SIMULASI SOFTWARE</b>	
<b>SOFTWARE PENGECORAN 3D-FLOW CASTING</b> .....	101
5.1 Model 3D .....	101
5.2 <i>Geometry Input &amp; Geometry Interpretation</i> .....	102
5.3 <i>Solid Object</i> .....	103
5.4 <i>Meshing</i> .....	104
5.5 <i>Boundary Condition</i> .....	105
5.6 <i>Metal Input</i> .....	106
5.7 <i>Metal Parameter</i> .....	107
5.8 <i>Heat Transfer Coefficient</i> .....	108
5.9 <i>Solver Parameter</i> .....	108
5.10 <i>Advanced Option</i> .....	109
5.11 <i>Post Processing</i> .....	109
5.12 Variabel Tetap Simulasi Sistem Saluran .....	110
<b>BAB 6 ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....	111
6.1 Simulasi Sistem Saluran .....	111
6.1.1 Simulasi Sistem 1 Saluran.....	111
6.1.2 Simulasi Sistem 2 Saluran.....	113
6.1.3 Simulasi Sistem 3 Saluran.....	115
6.2 Optimalisasi Mengurangi Cacat Penyusutan .....	118
6.2.1 Simulasi Sistem 2 Saluran Dengan Open <i>Riser</i> $\varnothing$ 20 mm .....	118

6.2.1.1 Contoh Cara Pehitungan Open Riser $\varnothing$ 20 mm .....	121
6.2.2 Simulasi Sistem 2 Saluran Dengan Open Riser $\varnothing$ 25 mm .....	123
6.2.3 Simulasi Sistem 2 Saluran Dengan Open Riser $\varnothing$ 30 mm .....	125
6.2.4 Simulasi Sistem 2 Saluran Dengan Open Riser $\varnothing$ 35 mm .....	127
<b>BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	131
7.1 Kesimpulan .....	131
7.2 Saran .....	132
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	133
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komposisi paduan alumunium menurut standar (ASM Handbook vol 15,1998) .....	7
<b>Tabel 2.2</b> Komposisi paduan Alumunium menurut standar JIS H5302 .....	9
<b>Tabel 2.3</b> Sifat mekanik paduan Aluminium menurut JIS H5302 .....	10
<b>Tabel 2.4</b> <i>Tolerance casting Process</i> .....	19
<b>Tabel 2.5</b> Tambahan penyusutan yang disarankan .....	26
<b>Tabel 2.6</b> Tambahan ukuran untuk benda tuangan besi coran.....	27
<b>Tabel 2.7</b> Ketebalan dinding minimum dari pengecoran pasir ....	28
<b>Tabel 3.1</b> Elemen Paduan JIS ADC 12.....	41
<b>Tabel 3.2</b> .Hasil simulasi perbandingan jenis system saluran yang paling efisien dalam mengurangi cacat pada produk cor.....	69
<b>Tabel 5.1</b> Parameter variable tetap pada tahap simulasi .....	94
<b>Tabel 6.1</b> Hasil Simulasi Cacat Shrinkage.....	117
<b>Tabel 6.2</b> Hasil presentase cacat penyusutan 2 sistem saluran ..	130

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cylinder Head Mitsubhi LM 100.....	7
Gambar 2.2 Dies/Inti terdiri dari dua bagian kup dan drag .....	8
Gambar 2.3 Pola tunggal .....	15
Gambar 2.4 Pola belahan.....	15
Gambar 2.5 Pola belahan banyak .....	16
Gambar 2.6 Jenis-jenis Inti.....	19
Gambar 2.7 Telapak inti .....	20
Gambar 2.8 Jenis-Jenis Saluran.....	22
Gambar 2.9 Bagian-bagian system saluran .....	24
Gambar 2.10 Cawan tuang (a) <i>without step</i> (b) <i>sharp step</i> (c) <i>radius step</i> .....	25
Gambar 2.11 Bentuk sprue a) Tapered sprue, b) Straight sprue...	26
Gambar 2.12 Bentuk saluran turun dasar .....	26
Gambar 2.13 Jenis Bentuk Pengalir .....	27
Gambar 2.14 Perangkat kotoran.....	28
Gambar 2.15 Saluran Masuk (a) <i>streamlined</i> (b) <i>modified</i> Straight (c) <i>straight</i> .....	28
Gambar 2.16 Jenis Riser.....	29
Gambar 2.17 Tambahan penyelesaian mesin untuk coran paduan bukan besi.....	31
Gambar 2.18 Contoh kemiringan pola.....	32
Gambar 2.19 Pertemuan L.....	33
Gambar 2.20 Area <i>Sprue</i> .....	35
Gambar 2.21 Gate dan runner area .....	36
Gambar 2.22 Well base area.....	36
Gambar 2.23 <i>Casting Modulus</i> .....	38
Gambar 2.24 <i>Presentase</i> Penyusutan .....	38
Gambar 2.25 Desain dan Ukuran penambah samping.....	39
Gambar 2.26 Proses Solidifikasi.....	40
Gambar 2.27 Cacat ronggak udara .....	41
Gambar 2.28 Cacat <i>surface crack</i> .....	42
Gambar 2.29 Cacat <i>hot tears</i> .....	43
Gambar 2.30 Cacat penyusutan .....	43



Gambar 2.31	Ilustrasi terjadinya cacat penyusutan ( <i>shrinkage</i> ).....	44
Gambar 3.1	Flow chart penelitian .....	47
Gambar 3.2	Model <i>Cylinder Head</i> 650 cc.....	51
Gambar 3.3	Sistem saluran masuk dengan menggunakan material epoxy .....	52
Gambar 3.4	Tahap Pembuatan Cetakan <i>Part Mould Dies Cylinder Head</i> .....	54
Gambar 3.5	Bagian cetakan inti pendukung <i>cylinder head</i> .....	55
Gambar 3.6	Mesin dan peralatan pembuatan dies <i>cylinder head</i> .....	56
Gambar 3.7	Tahap Pembuatan Cetakan <i>Part Cylinder Head</i> dengan Epoxy .....	58
Gambar 3.8	Hasil cetakan <i>part cylinder head</i> setelah proses <i>machining</i> .....	49
Gambar 3.9	Peralatan pembuatan pola : (a) <i>Sand grinder</i> , (b) <i>Cutting machine</i> (c) <i>Jig Saw</i> . (d) <i>Lathe machine</i> .....	59
Gambar 3.10	Tahapan pembuatan Inti/ <i>core</i> .....	62
Gambar 3.11	Proses pencampuran pasir silica dengan waterglass .....	63
Gambar 3.12	Pola epoxy negative <i>cylinder head</i> .....	64
Gambar 3.13	Pencampuran pasir cetak : (a) Pasir ditambahkan hardener, (b) Proses pengadukan.....	65
Gambar 3.14	Pembuatan bagian bawah dan proses pembuatan sistem saluran .....	65
Gambar 3.15	Pemasangan kerangka cetak .....	66
Gambar 3.16	Langkan pembuatan rongga cetak .....	66

Gambar 3.17	Pemasangan semua hasil cetakan bagian samping dan inti/ <i>kern</i> .....	67
Gambar 3.18	Pembuatan cetakan bagian atas : a)Pemasangan system saluran, b)Pasir cetak dimasukkan kedalam frame.....	67
Gambar 3.19	Pembuatan cetakan frame bagian atas : a) Pelepasan pola sistem Saluran, b) Pasir cetak ditiupkan CO .....	68
Gambar 3.20	Pembuatan Gate .....	68
Gambar 3.21	Tahap pemasangan inti kedalam cetakan.....	70
Gambar 3.22	Peralatan untuk membuat cetakan .....	70
Gambar 3.23	a) Kawat yang mengandung paduan unsur alumunium ADC12 b) sampah (scrap) velg mobil yang sedang di lebur .....	71
Gambar 3.24	Dimensi <i>Cylinder Head</i> .....	72
Gambar 3.25	Bagian <i>Cylinder Head</i> .....	73
Gambar 3.26	<i>Gating system cylinder head</i> .....	74
Gambar 3.27	Tahap peleburan alumunium ADC 12 .....	76
Gambar 3.28	Hasil pengecoran <i>cylinder head</i> .....	77
Gambar 3.29	Pengamatan cacat <i>cylinder head</i> secara visual ....	80
Gambar 4.1	Model <i>Cylinder Head</i> 650 cc .....	83
Gambar 4.2	Timbangan Digital Untuk Menghitung Berat <i>Cylinder Head</i> .....	84
Gambar 4.3	Rancangan Pengecoran Satu Sistem Saluran .....	85
Gambar 4.4	<i>Bottom Gating</i> Sistem 1 Saluran.....	86
Gambar 4.5	<i>Runner Area</i> Sistem 1 Saluran.....	87
Gambar 4.6	Dimensi Runner 1 Saluran .....	88
Gambar 4.7	Rancangan Pengecoran Dua Sistem Saluran .....	89
Gambar 4.8	Timbangan Digital Untuk Menghitung Berat <i>Cylinder Head</i> .....	89
Gambar 4.9	<i>Bottom Gating</i> Sistem 2 Saluran.....	90
Gambar 4.10	<i>Runner Area</i> Sistem 2 Saluran.....	92
Gambar 4.11	Dimensi Runner 2 Saluran .....	92
Gambar 4.12	Rancangan Pengecoran Tiga Sistem Saluran.....	93

Gambar 4.13	Timbangan Digital Untuk Menghitung Berat Cylinder Head.....	94
Gambar 4.14	<i>Bottom Gating</i> Sistem 3 Saluran.....	94
Gambar 4.15	<i>Runner Area</i> Sistem 3 Saluran.....	96
Gambar 4.16	Dimensi Runner 3 Saluran.....	97
Gambar 5.1	<i>Flowchart</i> Simulasi.....	102
Gambar 5.2	<i>Geometry Interpretation.</i> ....	102
Gambar 5.3	<i>Solid Object.</i> ....	103
Gambar 5.4	Pengaturan <i>Meshing</i> .....	104
Gambar 5.5	<i>Boundary Condition.</i> ....	105
Gambar 5.6	<i>Metal Input</i> .....	106
Gambar 5.7	<i>Metal Parameter</i> .....	107
Gambar 5.8	<i>Heat Transfer Coefficient</i> .....	108
Gambar 5.9	<i>Solver Parameter</i> .....	108
Gambar 5.10	<i>Advanced Option</i> .....	109
Gambar 5.11	Parameter variable tetap pada tahap simulasi....	110
Gambar 6.1	Model 3D system 1 saluran pada simulasi <i>flow</i> <i>cast</i> .....	111
Gambar 6.2	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem satu saluran.....	111
Gambar 6.3	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasae padat .....	112
Gambar 6.4	Model 3D system 2 saluran pada simulasi <i>flow</i> <i>cast</i> .....	113
Gambar 6.5	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem dua saluran.....	113
Gambar 6.6	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasa padat .....	114
Gambar 6.7	Model 3D system 3 saluran pada simulasi <i>flow</i> <i>cast</i> .....	115
Gambar 6.8	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem tiga saluran.....	115

Gambar 6.9	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasa padat .....	116
Gambar 6.10	Model 3D system 2 saluran pada simulasi <i>flow cast</i> <i>open riser</i> $\varnothing$ 20 mm .....	119
Gambar 6.11	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem dua saluran top riser 20 mm .....	119
Gambar 6.12	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasae padat.....	120
Gambar 6.13	Cacat shrinkage tampak atas dalam bentuk cube view.....	121
Gambar 6.14	Cacat shrinkage tampak samping dalam bentuk cube view .....	122
Gambar 6.15	Model 3D system 2 saluran pada simulasi <i>flow cast</i> <i>open riser</i> $\varnothing$ 25 mm .....	124
Gambar 6.16	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem dua saluran top riser 25 mm .....	124
Gambar 6.17	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasae padat.....	125
Gambar 6.18	Model 3D system 2 saluran pada simulasi <i>flow cast</i> <i>open riser</i> $\varnothing$ 30 mm .....	126
Gambar 6.19	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem dua saluran top riser 30 mm .....	126
Gambar 6.20	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasae padat.....	127
Gambar 6.21	Model 3D system 2 saluran pada simulasi <i>flow cast</i> <i>open riser</i> $\varnothing$ 35 mm .....	128
Gambar 6.22	Cacat <i>shrinkage</i> pada simulasi sistem dua saluran top riser 35 mm .....	128
Gambar 6.23	(a) Temperatur kondisi logam pada fasa cair, b) logam cair mulai Fasae padat.....	129

## Daftar Pustaka

- [1] Training Material And Publication  
[https://www.academia.edu/5016660/Engine\\_Principles\\_1\\_Training\\_Material\\_and\\_Publication](https://www.academia.edu/5016660/Engine_Principles_1_Training_Material_and_Publication).
- [2] PPG Teknik Mesin. 2010. **Teknik Pengecoran Logam**. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.  
<[staff.uny.ac.id/sites/default/files/.../1.%20Pengecoran%20logam.pdf](http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/.../1.%20Pengecoran%20logam.pdf)>
- [3] Yugohindra.  
< <http://www.scribd.com/doc/165375474/Jtptunimus-Gdl-Yugohindra-6423-3-3-Babii#scribd>>
- [4] Surdia, Tata. 2006. **Teknik Pengecoran Logam**. 9th edition. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [5] Teknik Metalurgi Unjani .  
<<http://www.modulpengecoranpeleburanlogamaa-110422023533-phpapp02>. 15 November 2013>
- [6] Hardi Sudjana.2008.**Teknik Pengecoran Logam Jilid 2**.Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional  
<[http://mirror.unpad.ac.id/bse/11\\_SMK/kelas11\\_smk\\_tkn\\_ik\\_pngecoran\\_logam\\_hardi\\_sudjana.pdf](http://mirror.unpad.ac.id/bse/11_SMK/kelas11_smk_tkn_ik_pngecoran_logam_hardi_sudjana.pdf)>
- [7] Modul Praktikum Pengecoran Logam.2011 : Lab Gunardma  
<[http://tm-lanjut.lab.gunadarma.ac.id/wp-content/uploads/2011/07/modul\\_praktikum-pengecoran-logam.pdf](http://tm-lanjut.lab.gunadarma.ac.id/wp-content/uploads/2011/07/modul_praktikum-pengecoran-logam.pdf)>
- [8] Zainuddin.2009 “Proses Pembuatan Shell Molding dengan Metode Croning”  
<<http://www.search-document.com/pdf/2/2/contoh-jurnal-keramik.html>>
- [9] R Brown, John. Foseco Ferrous Foundryman’s Handbook. 11th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1994.
- [10] Flow 3D Cast Manual  
<URL:[www.easysimulation.com/web/html/flow3dcast\\_en.htm](http://www.easysimulation.com/web/html/flow3dcast_en.htm)>

- [11] Ahmad.Supriyadi.2012”*Pengaruh TiBAL Pada Pengecoran ADC12 Terhadap Perubahan Butir Struktur Mikro dan Kekerasan*.Polines National Engineering Seminar.Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- [12] American Foundrymen’s Society Training & Research Institute. 1972. Basic Principle of Gating and Riser. Golf&Wolf Roads Des Plaines Illinois.

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ke lima dari tujuh bersaudara. Dilahirkan di kota Langsa, Aceh Timur pada tanggal 19 April 1988. Penulis memulai pendidikannya pada umur 6 tahun di SDN Pasindangan 3 Cirebon (1994-2000), SMP Negeri 10 Cirebon(2000-2003), SMA Negeri 4 Cirebon (2003-2006), dan D3 Politeknik Manufaktur Negeri Bandung (POLMAN-Bandung) Jurusan Teknik Manufaktur (KT) (2006-2009).Sempat bekerja selama tiga tahun di perusahaan swasta PT.TMMIN departemen Press & Welding selama 1 tahun (2007-2008) dengan status PKL (Praktik Kerja Lapangan) dan 2 tahun SINAR MAS group dengan status karyawan tetap dan posisi jabatan sebagai *Vice of Group Leader* level 4 (2009-2011). Kemudian melanjutkan pendidikan di S1 Teknik Mesin ITS semester genap (2011-2015). Penulis aktif dalam organisasi menjabat sebagai anggota BEM divisi KOMINFO selama satu tahun di D3 Polman-Bandung. Dalam bidang akademik penulis tertarik pada bidang teknik cor karena banyak yang tidak bisa didapatkan dibidang manufaktur dan untuk menambah pengalaman sekaligus dapat menambah wawasan.

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Kepala silinder merupakan komponen penting dalam bidang otomotif yang berfungsi sebagai atap ruang bakar,udukan injector,udukan poros cam (*cam shaft*), saluran gas masuk dan keluar , juga saluran air pendingin dan pelumasan. Dalam pembuatan kepala silinder, alumunium merupakan salah satu material yang digunakan pada industri otomotif untuk mengurangi berat secara keseluruhan. Alumunium tuang yang telah menggantikan penggunaan besi tuang membuat biaya produksi lebih efektif pada industri otomotif, khususnya untuk pembuatan kepala silinder.

Dalam penelitian alumunium umumnya digunakan dalam bentuk paduan karena alumunium murni memiliki kekuatan dan kekerasan yang sangat rendah. Oleh karena itu ditambah unsur paduan untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya. Ada sekitar 85% sampai 90 % jumlah paduan yang digunakan pada industri otomotif adalah ADC12 (tatanama menurut JIS /Japan Industri Standard) karena memiliki kekuatan tarik 310- 331 Mpa dan kekuatan luluh 150-165 Mpa.Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan alumunium (Surdia, 1991).

Alumunium ADC12 ini digunakan pada pengecoran kepala silinder sebagai salah satu komponen mesin kendaraan bermotor dan bagian dari salah satu program pemerintah dengan bekerja sama dengan perusahaan swasta dibidang manufaktur dan metalurgi dalam mengembangkan membuat mobil nasional (SINAS) yang dimulai dengan pembuatan mesin SINJAI (Mesin Jawa Timur) yang memerlukan eksperimen yaitu membuat mesin buatan sendiri yang berupa komponen-komponen vital yaitu *piston,crankshaft, cylinder block, dan cylinder head*. Pada proses pembuatan kepala silinder 650 cc harus dirancang terlebih dahulu



dari design sampai membuat pola rancangan agar pada saat proses pengecoran dapat menghasilkan bentuk pengecoran yang baik.

Proses pengecorannya kepala silinder menggunakan cetakan pasir kering dengan pengikat resin furan atau fenol. Pasir cetak akan segera mengeras dengan sendirinya jika resin bertemu dengan pengeras, oleh karena itu biasanya pengeras dicampurkan dengan cara ditaburkan setelah campuran pasir cetak dan resin dimasukkan ke dalam rangka cetak. Jika pengeras telah dicampurkan ke adukan pasir cetak dan resin, maka harus segera dimasukkan ke dalam rangka cetak sebelum pasir mengeras.

. Cacat cor yang umumnya terjadi pada pengecoran alumunium adalah porositas, penyusutan (*shrinkage*), inklusi pasir, dan *crack*. Cacat pada coran harus dihindari karena akan berpengaruh pada kualitas hasil coran yang dapat mengubah dimensi dan sifat mekanik dari benda hasil cor. Penyebab cacat tersebut antara lain berupa pembekuan atau solidifikasi yang tidak merata pada produk sehingga perlu dilakukan perancangan sistem saluran dan penambah (*riser*). *Riser* adalah bagian yang berfungsi untuk menambahkan logam cair pada rongga cetak yang masih kekurangan selama proses solidifikasi. Penambahan *riser* diharapkan agar dapat menjadi bagian yang membeku terakhir dari sistem saluran guna untuk mencegah terjadinya cacat tersebut.

Untuk memperkecil cacat yang terjadi pada kepala silinder (*cylinder head*) maka diperlukan beberapa simulasi untuk memprediksi kemungkinan cacat yang terjadi pada benda cor. Cairan masuk ke dalam benda cor melalui sistem saluran sebelum pengecoran dilakukan pada saat pengecoran dilakukan di Industri Pengecoran PT.ICCI yaitu menggunakan simulasi *software Flow-3D Casting* diharapkan dapat mengatasi cacat penyusutan (*shrinkage*) yang terjadi pada produk cor. Selain itu *riser* mempunyai peranan penting yang berpengaruh terhadap benda cor agar tidak terjadi cacat penyusutan (*shrinkage*). Dengan demikian adanya *riser* diharapkan akan memberikan hasil produk coran yang baik

Sistem saluran pengalir pada simulasi ini adalah dengan menggunakan 1 sistem saluran, 2 sistem saluran, dan 3 sistem saluran masuk. Dan pada riser ditempatkan di atas produk coran yang dianggap rawan *shrinkage* yaitu di permukaan dinding produk cor yang tipis.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana cara merancang pola, saluran masuk, dan penambahan diameter *riser* dengan eksperimen dua saluran untuk mengatasi cacat pada produk kepala silinder dalam pengecoran dengan cetakan pasir.

### **1.3 Batasan Masalah**

Beberapa batasan dan asumsi yang diajukan pada penelitian ini guna menyederhanakan permasalahan dan lebih memfokuskan arah penelitian adalah sebagai berikut :

- 1) Pasir cetak yang dipakai memiliki komposisi dan permeabilitas yang seragam (homogen).
- 2) Sistem saluran yang digunakan adalah *Bottom Gating System* dan dianggap sistem saluran sudah ideal.
- 3) Gaya gesek selama logam cair mengalir melalui saluran dan rongga cetakan dianggap konstan.
- 4) Logam cair pada saat penuangan dianggap sebagai *Newtonian Fluid*.
- 5) Komposisi campuran pasir cetak diasumsikan sudah cukup ideal.
- 6) Data properti dari pasir cetak untuk material aluminium ADC 12 yang digunakan pada simulasi mengacu pada *software* dan dianggap sudah sesuai standar.
- 7) Data properti yang digunakan pada penelitian ini seperti jenis material, temperatur logam cair, dimensi produk cor, konduktivitas panas lebih mengacu pada kesamaan teoritis.
- 8) Temperatur pasir cetak pada simulasi dianggap konstan dan sama dengan temperatur ruang yakni 27 °C.

- 9) Tinggi penuangan pada simulasi dianggap 0 mm dari ujung *sprue* bagian atas.
- 10) Pengaturan perpindahan panas pada simulasi antara cetakan dengan logam cair yakni sebesar  $92.6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ .

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mempelajari dan menganalisa pengaruh jumlah dan diameter riser dan mengatasi penyusutan (*shrinkage*) pada kepala silinder (*cylinder head*) 650 cc dengan material aluminium ADC 12 menggunakan 2 sistem saluran masuk secara simulasi dan aplikasi.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Mengembangkan industri otomotif di Indonesia terutama pada proses pembuatan produk kepala silinder sehingga dapat menghasilkan benda coran yang berkualitas baik.
2. Mengembangkan teori dan teknologi *gating system* dan *riser* yang diaplikasikan pada industri lainnya.
3. Membantu mengembangkan teori dan teknologi dibidang pengecoran secara simulasi dengan *software Flow-3D Casting*.

#### **1.6 Sistematika Laporan**

Laporan penelitian ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut :

##### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisikan penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika laporan.

##### **BAB 2 DASAR TEORI**

Pada bab ini berisikan teori dan fakta-fakta yang dipakai sebagai dasar untuk melakukan rujukan dan pembahasan permasalahan yang diangkat pada tugas akhir ini.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi uraian-uraian urutan proses pengerjaan tugas akhir ini yang meliputi : pengambilan data, tahap perancangan saluran, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

### **BAB 4 DATA AWAL PENGECORAN DAN PERANCANGAN SISTEM SALURAN KEPALA SILINDER (*CYLINDER HEAD*)**

Pada bab ini akan dilakukan perancangan sistem saluran dengan metode AFS, kemudian hasil perancangan di pakai untuk pelaksanaan pengecoran.

### **BAB 5 TAHAP PELAKSANAAN SIMULASI SOFTWARE PENGECORAN *FLOW CAST-3D***

Pada bab ini berisi properti simulasi dan langkah-langkah dalam penggunaan software *flow cast-3D*

### **BAB 6 ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisikan analisa dan pembahasan 2 sistem saluran masuk (*ingate*) dan meminimalisir cacat penyusutan (*shrinkage*) dengan metode *open riser* dan penambahan diameter *riser*.

### **BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini berisikan hasil kesimpulan dari pembahasan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Kepala Silinder (*Cylinder Head*)**

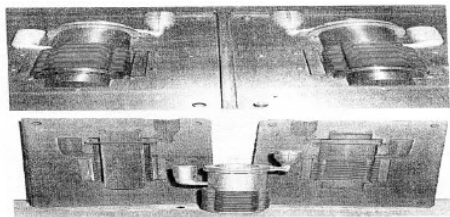
Kepala silinder ( *cylinder head* ) dipasang diatas blok silinder ( *cylinder block*) dengan ditambahkan gasket diantaranya untuk mencegah terjadinya kebocoran dari pembakaran gas. Dasar dari kepala silinder merupakan atap ruang bakar. Kepala silinder harus tahan terhadap temperature dan tekanan yang tinggi selama mesin bekerja. Oleh sebab itu umumnya kepala silinder dibuat dari besi tuang.



**Gambar 2.1** *Cylinder Head* Mitsubishi LM 100

Pada kepala silinder memiliki bentuk yang rumit dalam pengecorannya. Akhir-akhir ini banyak mesin yang kepala silindernya dibuat dari paduan alumunium salah satunya yaitu ADC 12, karena memiliki kemampuan pendingin lebih besar dibanding dengan yang terbuat dari besi tuang. Dari sekian banyak proses *casting* yang telah berkembang pada saat ini, tentu perlu menentukan jenis *casting* yang sesuai dengan kebutuhan, sedangkan pemilihan proses ini tentunya sangat tergantung dari beberapa aspek [1]. Pengecoran yang menggunakan cetakan dari pasir merupakan sistem yang paling murah diantara proses pengecoran lainnya. Proses cara kotak panas adalah suatu proses cara pembuatan cetakan atau inti dimana pasir dengan pengikat resin set-panas disemprotkan ke dalam kotak atau logam *dies* yang dipanaskan pada temperature 200°-250°C. Kemudian pasir ditiupkan kedalamnya, maka pasir segera mengeras karena

panas dari kotak inti. Inti yang tebal mempunyai bagian dalam yang tidak mengeras. Kalau dibiarkan dalam keadaan itu pasir akan mengeras sampai kedalam. Tetapi biasanya diikuti dengan pemangangan yang kedua kali pada 150 sampai 180°C. Terbentuklah semacam kulit pasir dengan ketebalan 10 - 20mm . Kedua bagian tersebut didekatkan oleh semacam lem atau clamp.[2]



**Gambar 2.2** Dies/inti terdiri dari dua bagian kup dan drag sebelum dilekatkan.

## **2.2 Alumunium ADC 12**

Menurut C.SIRO, National Research (2008), ADC 12 merupakan paduan aluminium tuang yang mengikuti tatanama JIS (*Japan Industrial Standart*). Paduan aluminium ADC 12 ini memiliki kesetaraan dengan paduan aluminium 384.0-F dan 383.0-F (ASM Handbook vol.15,1992). Menurut standar klasifikasi AA, aluminium jenis ini termasuk ke dalam paduan Al-Si-Cu [11]. Seperti terlihat pada **Tabel 2.1**

**Tabel 2.1.** Aplikasi atau kegunaan material menurut standar (ASM Handbook vol 15, 1998)[3]

Paduan	Perwakilan Aplikasi
308.0	coran cetakan tujuan umum permanen, kisi-kisi hias dan reflektor
319.0	Engine crankcases; bensin dan tangki minyak; panci minyak; frame mesin tik; bagian-bagian mesin
332.0	Otomotif dan piston, puli,
333.0	Gas meter dan bagian regulator; blok gigi; coran otomotif umum; piston
354.0	Premium-kekuatan coran untuk industri kedirgantaraan
355.0	Pasir: piston kompresor udara; cetak bedplates pers; jaket air; crankcases. Tetap: impeller, fitting pesawat udara; timinggears; kassus mesin jet kompresor
356.0	Pasir: roda gila mang; kassus transmisi otomotif; panci minyak; badan pompa. Tetap: mesin bagian alat; roda pesawat udara; badan pesawat tuang; pagar jembatan
A356.0	Struktural bagian yang membutuhkan kekuatan tinggi; bagian mesin, truk bagian chassis
357.0	Tahan korosi dan aplikasi tekanan-ketat
359.0	kekuatan coran untuk industri kedirgantaraan
360.0	bagian motor tempel, peralatan tas, pelat penutup, coran laut dan pesawat
A360.0	Cover piring, peralatan tas, bagian-bagian sistem irigasi; bagian motor tempel; engsel
380.0	rumah untuk mesin pemotong rumput dan pemancar radio; udara coran rem; kassus gigi
A380.0	Aplikasi membutuhkan kekuatan pada suhu tinggi
<b>384.0</b>	<b>Pistons dan aplikasi layanan lainnya; transmisi otomatis</b>
390.0	Piston tengah mesin pembakaran dalam; blok; manifold, dan kepala silinder
413.0	Arsitektur, hias, laut, dan makanan dan aplikasi peralatan susu
A413.0	piston motor tempel, peralatan gigi, frame mesin tik; jalan perumahan lampu
443.0	Cookware; pipa fitting, fitting laut; cetakan ban; badan karburator
514.0	Alat kelengkapan untuk kimia dan penggunaan limbah; susu dan makanan peralatan penanganan; cetakan ban

Aluminium dipakai sebagai paduan berbagai logam murni, sebab tidak kehilangan sifat ringan dan sifat-sifat mekanisnya dan mampu coranya diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium (Surdia, 1991)[3]. Seperti terlihat pada **tabel 2.2** berikut:



**Tabel 2.2.** Komposisi paduan Aluminium menurut standar  
**JIS H5302 [3]**

JIS	ISO	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Pb	Ti	Al
ADC1		<1.0	11.0 to 13.0	<0.3	<0.5	<1.3	<0.3	<0.5	<0.1<			Rest
ADC1C	Al-Si2CuFe	<1.2	11.0 to 13.5	<0.3	<0.5	<1.3	<0.5	<0.3	<0.1<	<0.2	<0.2	Rest
ADC2	Al-Si2Fe	<0.10	11.0 to 13.5	<0.10	<0.1	<1.3	<0.5	<0.1	<0.05	<0.1	<0.2	Rest
ADC3		<0.6	9.0 to 10	0.4 to 0.6	<0.5	<1.3	<0.3	<0.5	<0.1			Rest
ADC5		<0.2	<0.3	4.0 to 8.5	<0.1	<1.8	<0.3	<0.1	<0.1			Rest
ADC6		<0.1	<1.0	2.5 to 4.0	<0.4	<0.8	0.4-0.6	<0.1	<0.1			Rest
ADC7	Al-Si5Fe	<0.10	4.5 to 6.0	<0.1	<0.1	<1.3	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2	Rest
ADC8	Al-Si6Cu4Fe	3.0 to 5.0	5.0 to 7.0	<0.3	<2.0	<1.3	0.2-0.6	<0.3	<0.1	<0.2	<0.2	Rest
ADC10		2.0 to 4.0	7.5 to 9.5	<0.3	<1.0	<1.3	<0.5	<0.5	<0.2			Rest
ADC10Z		2.0 to 4.0	7.5 to 9.5	<0.3	<3.0	<1.3	<0.5	<0.5	<0.2			Rest
ADC11	Al-Si8Cu3Fe	2.5 to 4.0	7.5 to 9.5	<0.3	<1.2	<1.3	<0.6	<0.5	<0.2	<0.3	<0.2	Rest
ADC12		1.5 to 3.5	9.6 to 12.0	<0.3	<1.0	<1.3	<0.5	<0.5	<0.2			Rest
ADC12Z		1.5 to 3.5	9.6 to 12.0	<0.3	<3.0	<1.3	<0.5	<0.5	<0.2			Rest

Selain itu pada paduan aluminium ADC 12 juga terdapat sifat mekanik yang terkandung pada aluminium paduan tersebut seperti terlihat pada **Tabel 2.3.**

**Tabel 2.3.** Sifat mekanik paduan Aluminium menurut JIS H5302 [3]

JIS							Brinell hardness				
		Tensile strength Rm MPa min.			Yield strength Rp0,2 MPa min.			HB		HRB	
	Average	σ	ASTM	Average	σ	ASTM	Average	σ	ASTM	Average	σ
ADC1	250	46	290	172	22	130	71.2	3.5	72	36.2	5.5
ADC3	279	48	320	179	35	170	71.4	1.8	76	36.7	2.2
ADC5	(213)	65	310	145	26	190	64.4	2.4	74	(30.1)	3.7
ADC6	266	61	280	172	23		64.7	2.3	67	27.3	3.9
ADC10	241	34	320	157	18	160	73.6	2.4	83	39.4	3.0
ADC12	228	41	310	154	14	150	74.1	1.5	86	40.0	1.8
ADC14	193	28	320	188	31	250	76.8	1.7	108	43.1	2.1

### 2.3 Paduan Al-Si-Cu [3]

Paduan aluminium - tembaga adalah paduan aluminium yang mengandung tembaga 4,5 %, memiliki sifat-sifat mekanik dan mampu mesin yang baik sedangkan mampu cornya agak jelek. Paduan aluminium tembaga – silikon dibuat dengan menambah 4 – 5 % silikon pada paduan aluminium tembaga untuk memperbaiki sifat mampu cornya. Paduan ini dipakai untuk bagian-bagian motor mobil, dan rangka utama dari katup (Surdia, 1991).

Biasanya didalam paduan ini tidak hanya terdapat unsur Si dan Cu sebagai unsur paduan utamanya tetapi tidak jarang ditemukan unsur-unsur paduan lainnya dalam jumlah kecil. Adapun pengaruh dari unsur paduan utama minor terhadap sifat mekanik dan karakteristik paduan aluminium antara lain sebagai berikut:

#### **a. Silikon (Si)**

Unsur Si dalam paduan aluminium mempunyai pengaruh positif :

- Meningkatkan sifat mampu alir (*Hight Fluidity*).
- Mempermudah proses pengecoran
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran
- Menurunkan penyusutan dalam hasil cor
- Tahan terhadap *hot tear* (perpatahan pada metal casting pada saat solidifikasi karena adanya kontraksi yang merintang)  
Pengaruh negatif yang ditimbulkan unsur Si berupa:
- Penurunan keuletan bahan terhadap beban kejut jika kandungan silikon terlalu tinggi.

#### **b. Tembaga (Cu)**

Pengaruh baik yang dapat timbul oleh unsur Cu dalam paduan aluminium:

- Meningkatkan kekerasan bahan dengan membentuk presipitat
- Memperbaiki kekuatan tarik
- Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin.

Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan oleh unsur Cu :

- Menurunkan daya tahan terhadap korosi
- Mengurangi keuletan bahan dan
- Menurunkan kemampuan dibentuk dan dirol

#### **c. Unsur Magnesium (Mg)**

Magnesium memberikan pengaruh baik yaitu:

- Mempermudah proses penuangan
- Meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- Meningkatkan kekuatan mekanis
- Menghaluskan butiran kristal secara efektif
- Meningkatkan ketahanan beban kejut atau impak.

Pengaruh buruk yang ditimbulkan oleh unsur Mg :

- Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil pengecoran

#### **d. Unsur Besi (Fe)**

Pengaruh baik yang dapat ditimbulkan oleh unsur Fe adalah :

- mencegah terjadinya penempelan logam cair pada cetakan.

Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan unsur paduan ini adalah :

- Penurunan sifat mekanis
- Penurunan kekuatan tarik
- Timbulnya bintik keras pada hasil coran
- Peningkatan cacat porositas.

### **2.4 Pola Cetakan [2]**

Pola sangat diperlukan dalam pengecoran, dapat digolongkan menjadi pola logam maupun dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran terutama dalam masa produksi sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitas lebih tinggi.

Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambaran perencanaan menjadi gambar untuk pengecoran. Dalam hal ini dipertimbangkan bagaimana membuat coran yang baik, bagaimana biaya pembuatan menjadi lebih murah, membuat pola yang mudah, dan bagaimana cara mempermudah pembongkaran cetakan, kemudian menetapkan arah *cup* dan *drag*, posisi permukaan pisah, bagian yang dibuat oleh cetakan utama dan bagian yang dibuat oleh inti. Selanjutnya menetapkan tambahan penyusutan, tambahan untuk penyelesaian dengan mesin, kemiringan pola, dan seterusnya serta dibuat gambar untuk pengecoran yang kemudian diserahkan pada pembuat pola.

### **2.4.1 Bahan dan Macam Pola [5]**

Bahan-bahan yang dipakai untuk pola yaitu kayu, resin, atau logam. Dalam proses pengecoran tertentu atau khusus digunakan pola plaster atau lilin.

#### **A. Pola Kayu**

Kelebihan bahan pola dari kayu yaitu:

- Digunakan untuk pola yang bentuk dan ukurannya rumit.
- Mudah didapat.
- Mudah dikerjakan (proses pengerjaannya mudah)
- Harganya murah.

Kekurangan bahan pola dari kayu yaitu:

- Tidak bisa mengerjakan produksi massal.
- Sering terjadi penyusutan.

#### **B. Pola Logam**

Kelebihan bahan pola dari logam yaitu:

- Bisa digunakan untuk produksi massal
- Mudah didapat.

Kekurangan dari bahan pola logam yaitu:

- Tingkat kesulitan perjakan
- Tidak bisa mengerjakan pola yang rumit bentuk maupun ukurannya.

#### **C. Resin Sintetis Epoxy**

Resin sintetis epoxy merupakan resin yang banyak dipakai karena mempunyai sifat penyusutan yang kecil pada waktu mengeras, tahan aus. Selain resin epoksi juga dipakai resin resin polisetirina namun pola dari bahan ini hanya untuk sekali pakai saja.[3]

Kelebihan bahan pola dari resin sintetis yaitu:

- Dapat digunakan untuk bentuk dan ukuran yang rumit
- Biasanya untuk produksi massal.

Kekurangan bahan pola dari resin sintetis yaitu:

- Harganya relatif mahal dan sulit didapat

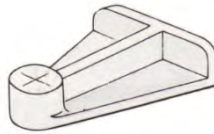
### 2.4.2 Macam Pola [4]

Pola mempunyai berbagai macam bentuk seperti diuraikan dibawah ini. Pada pemilihan macam pola harus diperhatikan produktivitas, kualitas coran dan harga pola.

#### 1. Pola Pejal

Pola pejal adalah pola yang biasa dipakai yang bentuknya hampir serupa dengan bentuk coran. Pola ini dibagi menjadi beberapa macam antara lain :

- a) Pola tunggal biasanya dibentuk serupa dengan corannya dan bentuk lebih sederhana, kadang- kadang dibuat juga menjadi satu dengan telapak inti.



**Gambar 2.3** Pola tunggal

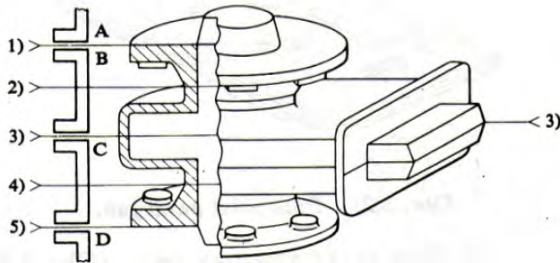
- b) Pola belahan ini dibelah ditengah untuk memudahkan pembuatan cetakan. Biasanya pola ini dipakai bila bentuknya ada berupa silinder.



**Gambar 2.4** Pola belahan

- c) Pola belahan banyak dimana dalam hal ini pola dibagi menjadi tiga belah atau lebih untuk memudahkan

penarikan dari cetakan dan untuk penyederhanaan pemasangan inti



1), 2), 3), 4), 5): Permukaan pisah dari pola.

A), B), C), D): Permukaan penutup dari rangka.

**Gambar 2.5** Pola belahan banyak

#### **2.4.3 Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan pola [7]**

Pada proses pembuatan pola ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Permukaan pola (baik pola benda coran, *gating system* dan *riser*) harus baik dan halus agar tidak merusak cetakan pada proses pelepasan pola.
2. Dimensi dari pola benda coran harus dibuat penambahan + 5mm dari ukuran sebenarnya untuk mencegah penyusutan yang terjadi dan untuk proses finishing dari benda coran.
3. Faktor kemiringan pola sangat diutamakan, hal ini bertujuan agar memudahkan pengangkatan pola dari cetakan, sehingga tidak merusak cetakan.

#### **2.4.4 Peralatan Pembuatan Pola [4]**

Proses manufaktur pola kayu memerlukan alat-alat kerja kayu (carpenter) yang cukup modern, seperti gergaji mesin, alat penghalus permukaan, bor kayu, dan alat-alat pahat. Proses pembuatannya sendiri cukup rumit karena alat ukur yang digunakan memiliki panjang yang berbeda dengan ukuran normal akibat adanya nilai penyusutan logam, untuk itu sangat diperlukan ketelitian pada saat pembuatannya. Pola yang terbuat dari logam diproses dengan menggunakan mesin-mesin yang cukup canggih seperti dengan menggunakan mesin CNC (computerize numerical control), Wire cut, dan mesin konvensional seperti kerja bangku, mesin bubut, mesin freis, mesin bor, dan gerinda. Tujuan utama pembuatan cetakan pasir dengan bantuan pola, adalah sebagai berikut:

- Untuk mendapatkan produk coran dengan kualitas geometri yang baik, seperti bentuk, dimensi dan posisi.
- Mempertinggi efisiensi dan produktivitas proses pengecoran massal.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perancangan pola adalah sebagai berikut:

- Menetapkan parting line sebagai pemisah antara cope dan drag.
- Menentukan tambahan dimensi akibat penyusutan logam dan akibat goyangan pada saat pola dilepas dari rongga cetakan.
- Menentukan kemiringan pola agar mudah dilepaskan dari rongga cetak.
- Menentukan tambahan dimensi untuk kompensasi dari adanya proses pemesinan.



#### **2.4.5 Bidang Pisah (*Parting line*) [4]**

Fungsi dari bidang pisah ini adalah memisahkan atau membuat partisi dari bagian pola bagian atas (*cope*) dan dengan pola bagian bawah (*drag*). Untuk itu bagian pola atas dan bawah harus memiliki acuan agar tidak mengalami kesalahan dimensi.

#### **2.4.6 Penambahan Penyusutan Pola [4]**

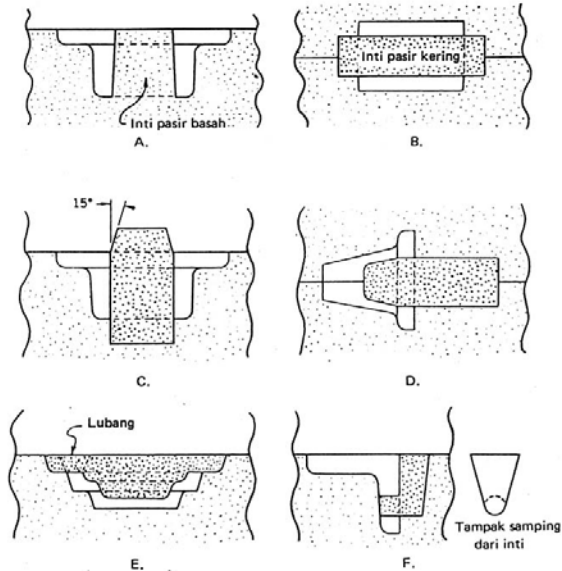
Pada setiap pola yang akan harus diketahui dahulu material apa yang akan digunakan untuk pembuatan produk. Ukuran pola harus ditambahkan dengan ukuran penyusutannya, setiap logam memiliki nilai penyusutan berbeda, antara lain besi cor memiliki nilai penyusutan (*shrinkage*) sebesar 1%, aluminium 1.5% dan baja 2%.

#### **2.4.7 Kemiringan Pola [4]**

Setiap pola yang akan dibuat harus memiliki kemiringan tertentu yaitu dengan tujuan agar pada waktu pencabutan model dari cetakannya, pola tersebut tidak mengalami kerusakan dan memudahkan pada saat proses pencabutan pola dari cetakannya. Kemiringan setiap pola tergantung pada tinggi rendahnya ukuran pola tersebut jika ukuran dari suatu pola tinggi maka kemiringannya kecil, sedangkan jika ukuran dari suatu pola rendah maka kemiringannya besar. Pada aplikasinya dilapangan ternyata kemiringan yang dibuat tersebut adalah  $\pm 1^\circ$  dan juga dipengaruhi oleh faktor kesulitan suatu dari pola.

#### **2.5 Inti [7]**

Inti digunakan bila dalam suatu cetakan perlu dibuat rongga atau lubang, misalnya lubang untuk baut. Inti bisa merupakan bagian dari pola atau dipasang setelah pola dikeluarkan. Inti bisa dibagai atas : inti pasir basah dan inti pasir kering. Inti basah adalah bagian dari pola dan terbuat dari bahan yang sama dengan cetakan. Inti pasir kering dibuat secara terpisah dan dipasang setelah pola dikeluarkan sebagai berikut :



**Gambar 2.6** Jenis-jenis Inti

Berbagai jenis inti. A. Pola dengan inti pasir basah; B. Inti pasir kering yang disangga pada kedua ujungnya; C. Inti pasir kering vertikal; D. Intipasir kering horisontal; E. Inti pasir kering yang tergantung; F. Inti bawah.

Dalam merencanakan pembuatan inti tidak dapat dilupakan dengan apa yang dinamakan telapak inti. Dimana yang dimaksud dengan telapak Inti adalah :

1. Untuk menempatkan inti, membawa dan menentukan letak dari inti. Pada dasarnya dibuat dengan menyisipkan bagian dari inti.
2. Untuk menyalurkan udara dan gas-gas dari cetakan yang keluar melalui inti. Kalau cetakan telah terisi penuh oleh logam, gas-gas dari inti dibawa keluar melalui telapak inti.
3. Untuk memegang inti. Kalau cetakan telah terisi penuh oleh logam, ia mencegah bergesernya inti dan memegang inti terhadap daya apung dari logam cair. Penentuan bentuk dan

ukuran dari telapak inti harus direncanakan dengan teliti untuk menyederhanakan cetakan, dan agar didapat coran yang baik serta menaikkan produktivitas.



**Gambar 2.7** Telapak Inti [7]

Pola menentukan hasil dari coran, oleh karena itu diperlukan dasar-dasar pengetahuan tentang perancangan. Sebelum kita membuat pola, terlebih dahulu memerlukan gambar perancangan. Bahan-bahan pola yang biasa digunakan yaitu : kayu, lilin (*wax*), logam. Pola kayu banyak dipakai karena lebih murah, cepat dibuatnya dan mudah diolah. Oleh karena itu untuk pola kayu biasanya dipakai untuk cetakan pasir. Alat-alat yang digunakan untuk membentuk pola dari kayu ialah pahat, mesin bubut kayu, gerinda kayu, amplas dan lain-lain.

## **2.6 Cetakan dengan cara kotak panas [8]**

Cara kotak panas adalah cara pembuatan cetakan atau inti di mana pasir dengan pengikat resin set-panas disemprotkan ke dalam kotak logam/dies yang dipanaskan.

Cara kotak yang dibuat dari besi cor biasa dipakai sebagai kotak inti untuk pembuatan inti. Kotak inti dipanaskan Tean mula pada 200 sampai 250 °C. Kemudian pasir ditiupkan kedalamnya, maka pasir segera mengeras karena panas dari kotak inti. Inti yang tebal mempunyai bagian dalam yang tidak mengeras. Kalau dibiarkan dalam keadaan itu pasir akan mengeras sampai kedalam. Tetapi biasanya diikuti dengan pemanggangan yang kedua kali pada 150 sampai 180°C. Boleh dikatakan sangat sukar untuk membuat inti berongga seperti pada pembuatan cetakan

kulit, karena pengisapan dan pendorongan oleh udara tidak dapat mengeluarkan pasir yang tidak terpangang. Inti macam ini mempunyai mampu ambruk yang baik dan sangat menguntungkan pada pembongkaran karena resin terbakar pada temperatur tinggi.

#### **2.6.1 Pasir untuk cara kotak panas [8]**

Dalam cara ini resin furan dipakai sebagai bahan pengikat. Biasanya ditambahkan resin furan 2 sampai 3% pada pasir, disamping itu ditambahkan juga asam lemah 20 sampai 30% dari jumlah resin sebagai katalisator untuk bisa bercampur. Temperature pasir sebelum pencampuran ditahan kira-kira dibawah 30°C. Pasir yang dicampur dengan resin furan harus mempunyai kadar kotoran atau debu yang sedikit dan permukaan butirnya harus bersih. Kalau syarat tersebut tidak dipenuhi, kekuatannya setelah mengeras akan kurang.

#### **2.7 Sistem Saluran (*Gating System*) [4]**

Saluran tuang dapat didefinisikan secara sederhana sebagai suatu bagian untuk mengalirnya logam cair mengisi rongga cetakan. Bagian-bagiannya meliputi cawan tuang (*pouring basin*), saluran turun (*sprue*), dan saluran masuk (*ingate*). Sistem saluran yang ideal harus memenuhi kriteria seperti; mengurangi cacat, menghindari penyusutan dan dapat mengurangi biaya produksi, berikut adalah uraian dari karakteristik sistim saluran yaitu:

- a. Dapat mengurangi terjadinya turbulensi aliran logam cair kedalam rongga cetakan. Turbulensi akan menyebabkan terjebaknya gas-gas/ udara atau kotoran (*slag*) didalam logam cair yang dapat menghasilkan cacat coran.
- b. Mengurangi masuknya gas-gas kedalam logam cair.
- c. Mengurangi kecepatan logam cair yang mengalir kedalam cetakan, sehingga tidak terjadi erosi pada cetakan.
- d. Mempercepat pengisian logam cair kedalam rongga cetak untuk menghindari pembekuan dini.
- e. Mengakomodir pembekuan terarah (*directional solidification*) pada produk coran.

- f. Gradien temperatur yang terjadi saat masuknya logam cair kedalam cetakan harus sama baiknya dengan gradien temperature pada permukaan cetakan sehingga pembekuan dapat diarahkan menuju *riser*.

**Tabel 2.4** *Tolerance casting process*

Casting Process	Part Size	Tolerance		Casting Process	Part Size	Tolerance	
		mm	in			mm	in
Sand casting				Permanent mold			
Aluminum <sup>a</sup>	Small	±0.5	±0.020	Aluminum <sup>a</sup>	Small	±0.25	±0.010
Cast iron	Small	±1.0	±0.040	Cast iron	Small	±0.8	±0.030
	Large	±1.5	±0.060	Copper alloys	Small	±0.4	±0.015
Copper alloys	Small	±0.4	±0.015	Steel	Small	±0.5	±0.020
Steel	Small	±1.3	±0.050	Die casting			
	Large	±2.0	±0.080	Aluminum <sup>a</sup>	Small	±0.12	±0.005
Shell molding				Copper alloys	Small	±0.12	±0.005
Aluminum <sup>a</sup>	Small	±0.25	±0.010	Investment			
Cast iron	Small	±0.5	±0.020	Aluminum <sup>a</sup>	Small	±0.12	±0.005
Copper alloys	Small	±0.4	±0.015	Cast iron	Small	±0.25	±0.010
Steel	Small	±0.8	±0.030	Copper alloys	Small	±0.12	±0.005
Plaster mold	Small	±0.12	±0.005	Steel	Small	±0.25	±0.010
	Large	±0.4	±0.015				

Berikut ini ditunjukkan jenis-jenis system saluran :



**Gambar 2.8** Jenis-Jenis Saluran

Sistim saluran terdiri atas:

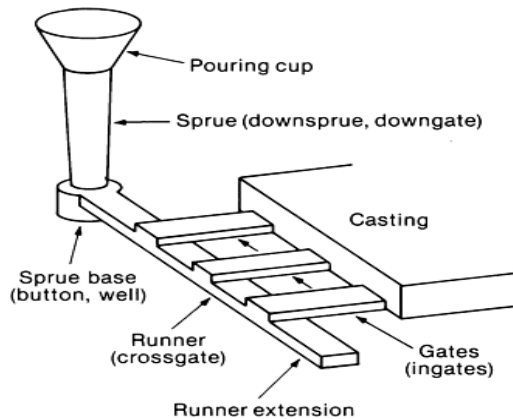
- Saluran masuk (*ingate*).
- Saluran pengalir (*runner*).
- Saluran turun (*sprue*).

Penentuan coran dalam sistem saluran:

- Tempatkan dimensi coran yang besar pada bagian bawah.
- Minimalkan tinggi dari coran.
- Tempatkan daerah terbuka dibagian bawah.
- Tempatkan coran sedemikian rupa hingga riser berada pada tempat tertinggi dari coran untuk bagian yang besar.  
Jika akan dibuat terpisah (*cope and drag*):
- Umumnya *runner*, *gate* dan *sprue* ditempatkan pada *drag*.
- Tempatkan bidang pisah (*parting plane*) relatif serendah mungkin terhadap coran.
- Tempatkan bidang pisah pada bagian dimana coran mempunyai luas permukaan terbesar.

Sistem saluran dari proses pengecoran mempunyai bagian-bagian seperti berikut [1]:

1. Cawan tuang (*pouring cup*).
2. Saluran turun (*sprue*).
3. Saluran Turun Dasar (*sprue base*)
4. Pengalir (*runner*).
5. Pengalir tambahan (*runner extention*)
6. Saluran masuk (*ingate*)

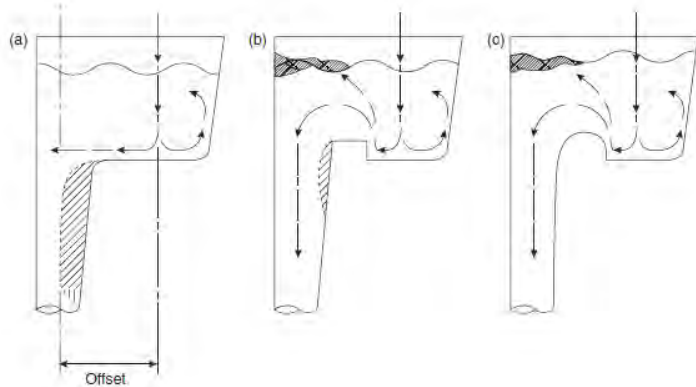


**Gambar 2.9** Bagian-bagian sistem saluran

Masing-masing bagian pada sistem saluran adalah untuk memungkinkan logam cair dapat mengisi rongga cetak secepat mungkin dengan meminimalkan terjadinya turbulensi serta menyediakan logam cair yang cukup selama proses solidifikasi dan mencegah cacat. Selain itu, sistem saluran harus didesain untuk menangkap kotoran dan terak selama proses penuangan.

#### 1. Cawang Tuang (*Pouring Basin*)

Merupakan bagian yang menerima cairan logam langsung dari ladle. Biasanya berbentuk corong atau cawan dengan saluran turun dibawahnya. Cawan tuang tidak boleh terlalu dangkal sebab hal itu bisa menyebabkan pusaran karena bentuk dari cawan tuang itu sendiri sehingga timbul terak atau kotoran yang terapung pada logam cair. Pada gambar 2.16 cawan tuang dengan bentuk *without step dan sharp step* mengakibatkan celah udara pada saat masuk menuju saluran turun, dengan adanya celah tersebut aliran logam cair membentuk olakan yang mengakibatkan rongga udara masuk kedalam rongga cetak dan terjadi cacat porositas pada hasil coran. Bentuk cawan tuang yang baik sebaiknya menggunakan *radius step* yang tidak menyebabkan adanya celah udara pada saluran yang menuju rongga cetak sehingga adanya cacat bisa dikurangi.

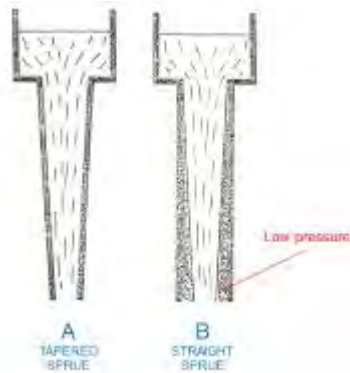


**Gambar 2.10** Cawan tuang (a) *without step* (b) *sharp step* (c) *radius step*

## 2. Saluran Turun (*Sprue*)

Adalah saluran pertama cairan logam dari cawang tuang ke dalam pengalir dan saluran masuk. Saluran turun dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran. Kadang irisan sama besar ukurannya dari atas kebawah atau terkadang berbentuk tirus kebawah. Dengan kita memilih bentuk *straight sprue* maka aliran logam cair akan membentuk olakan dan aliran jatuh bebas dimana di daerah yang bertekanan rendah kemungkinan akan menyebabkan menghisapan udara dan gas yang akan dijerat dalam aliran logam cair. Sehingga kemungkinan adanya cacat rongga udara, selain itu akibat aliran jatuh bebas tersebut mengakibatkan pasir cetak menjadi rontok dan terbawa oleh logam cair.

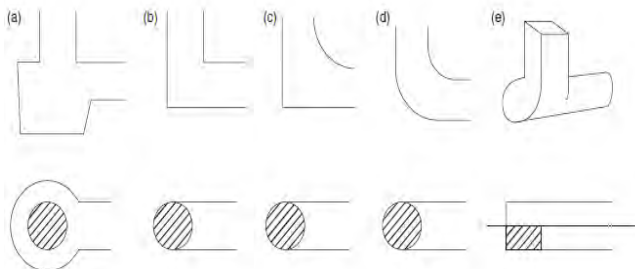




**Gambar 2.11** Bentuk sprue a) *Tapered sprue*, b) *Straight sprue*

### 3. Saluran Turun Dasar (*sprue base*)

Adalah bagian sprue bagian dasar dimana luasan bagian dasarnya diperluas, biasanya berbentuk silinder atau segi empat yang berfungsi untuk merangkap kotoran pada aliran logam cair dan mengurangi energy kinetic yang jatuh bebas yang mengakibatkan aliran turbulen. Biasanya pemilihan bentuk dari *sprue base* adalah silindris karena mudah dibuat dari pada bentuk yang lain.



**Gambar 2.12** Bentuk saluran turun dasar

#### 4. Pengalir (*Runner*)

Adalah saluran yang membawa logam cair dari saluran turun menuju rongga cetak. Pengalir biasanya mempunyai irisan seperti trapesium atau setengah lingkaran sebab irisan yang demikian mudah dibuat pada permukaan pemisah (parting line). Untuk pengalir tidak dianjurkan berbentuk silindris, karena bentuk tersebut memicu terjadinya olakan sehingga mengakibatkan adanya gas yang terperangkap pada aliran logam cair yang mengakibatkan timbulnya cacat porositas pada hasil coran. Menurut AFS untuk pemasangan pengalir diletakkan di posisi drug dan saluran masuk (ingate) di letakkan di cup, supaya kotoran/dross diharapkan mengendap didasar pengalir dan yang masuk kerongga cetak adalah aliran logam cair yang bersih.



$$\begin{aligned}\text{Luas} &= 1 \text{ in}^2 \\ \text{SA/V} &= 5\end{aligned}$$

(a)

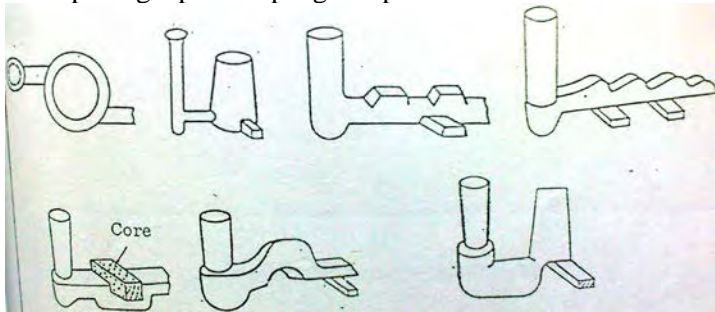


$$\begin{aligned}\text{Luas} &= 1 \text{ in}^2 \\ \text{SA/V} &= 4\end{aligned}$$

(b)

**Gambar2.13** Jenis bentuk Pengalir : Wide shallow runner (a), dan Square runner (b) [12]

Jenis perangkat dross/pengotor pada runner :



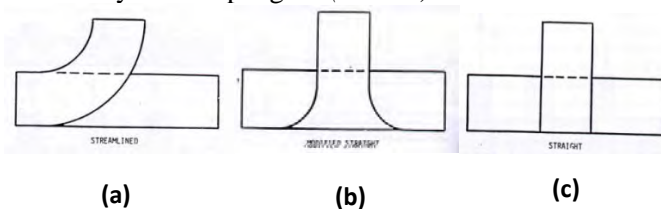
**Gambar 2.14** Perangkap kotoran [5]

5. Pengalir Tambahan (*runner extention*)

Adalah bagian pengalir yang diperpanjang yang berfungsi untuk merangkap kotoran /dross dari logam cair akibat erosi dinding cetakan karena aliran turbulen dan kotoran saat penuangan.

6. Saluran Masuk (*Ingate*)

Adalah saluran untuk mengisikikan logam cair dari saluran pengalir kedalam rongga cetakan. Saluran ini dibuat dengan irisan yang lebih kecil daripada irisan pengalir agar dapat mencegah kotoran masuk kedalam rongga cetakan. Saluran ini dapat terdiri dari satu atau lebih saluran masuk dalam sistem saluran yang direncanakan. Untuk bentuk saluran masuk lebih baik pilih dengan bentuk straight karena mudah dibuat, tetapi peletakannya diatas pengalir (*runner*)



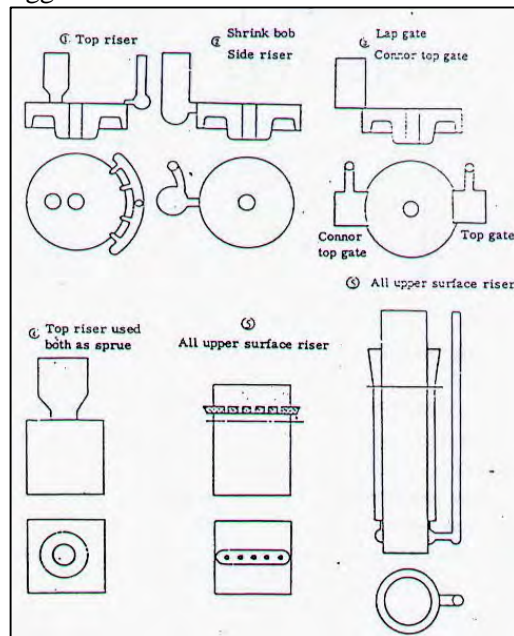
**Gambar 2.15** Saluran Masuk [12]

(a) *streamlined* (b) *modified straight* (c) *straight*

## 7. Saluran Penambah (Riser) [5]

Riser didisain dekat ke bagian yang tebal dan berfungsi sebagai umpan logam cair selama pembekuan. Riser mempunyai ukuran dan konstruksi agar dapat membeku paling akhir. Pertimbangan terhadap riser adalah sebagai berikut:

- Tempatkan *riser* dekat bagian yang tebal.
- Penggunaan *side riser* umumnya ditempatkan diatas ingate, digunakan untuk coran dengan dinding tipis.
- *Riser* diukur berdasarkan volume logam cair.
- *Riser* dibuat cukup besar agar dapat mengisi bagian yang menyusut dan terakhir membeku.
- *Riser* harus mengimbangi penyusutan dalam pembekuan dari coran, sehingga ia harus membeku lebih lambat dari coran.



**Gambar 2.16** Jenis Riser

## 2.8 Faktor-faktor penting dalam proses penuangan (pengecoran) [5]

Faktor-faktor penting yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan produk penuangan (pengecoran) adalah bahwa perubahan temperatur pada bahan produk penuangan tersebut akan mengakibatkan pula perubahan terhadap bentuk dari produk itu sendiri, dengan keragaman dimensional produk akan terjadi perbedaan ketebalan bahan sehingga proses pendinginan pun tidak akan merata, dengan demikian maka akan terjadi tegangan yang tidak merata pula, maka deformasi pun tidak dapat dihindari, akibatnya benda kerja akan mengalami perubahan bentuk secara permanent disamping dapat merugikan sifat mekanis dari bahan tersebut. Oleh karena itu tindakan preventif harus dilakukan, antara lain :

### 2.8.1 Penentuan tambahan penyusutan [4]

Tambahan ukuran bahan diberikan pada saat pembuatancetakan yang direncanakan sejak pembuatan model (*pattern*), walaupun tidak sangat akurat penambahan ukuran ini dapat dianalisis dari bentuk dimensi produk tersebut melalui bentuk model yang kita buat dapat ditentukan besarnya kelebihan ukuran yang harus dilebihkan, dimana penyusutan pada bahan yang tipis akan berbeda dengan penyusutan bahan yang lebih tebal. Untuk itu table 2.3 berikut dapatlah dijadikan acuan dalam menentukan kelebihan ukuran (*Allowance*) terhadap kemungkinan terjadinya penyusutan.

**Table 2.5** Tambahan penyusutan yang disarankan [4]

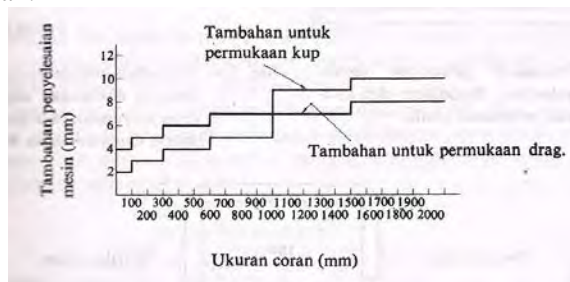
Tambahan Penyusutan	Bahan
8/1.000	Besi cor, baja cor tipis
9/1.000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut
10/1.000	Sama dengan atas dan aluminium
12/1.000	Paduan aluminium, brons, baja cor (tebal 5-7

	mm)
14/1.000	Kuningan kekuatan tinggi, baja cor
16/1.000	Baja cor (tebal dari 10 mm)
20/1.000	Coran baja yang besar
25/1.000	Coran baja besar dan tebal

### 2.8.2 Penentuan tambahan penyelesaian mesin

Pada beberapa produk bagian tertentu dari produk penguangan diperlukan permukaan dengan kualitas tertentu sehingga dipersyaratkan penyelesaian dengan pekerjaan pemesian (*machining*). Benda yang demikian ini biasanya merupakan bagian dari konstruksi rakitan sehingga masing-masing komponen akan terpasang secara baik, misalnya *Cylinder Block* dengan *Cylinder head* pada engine dan lain-lain. Untuk itu maka benda tuangan tersebut harus diberikan kelebihan ukuran, sehingga setelah pemesian ukuran akhir sesuai dengan yang dikehendaki, oleh karena itu pula analisis terhadap gambar kerja menjadi sangat penting sebelum pembentukan model yakni drag dan cope dilakukan.

Berikut merupakan gambar dan table pekerjaan mesin yang menunjukkan harga-harga acuan dalam memberikan ukuran tambahan pada cetakan sesuai dengan ukuran benda yang akan dikerjakan.



**Gambar 2.17** Tambahan penyelesaian mesin untuk coran paduan bukan besi [4]

### 2.8.3 Kemiringan pola [4]

Permukaan-permukaan tegak dari pola dimiringkan mulai dari permukaan pisah, untuk memudahkan pengangkatan pola dari cetakan. Meskipun dalam hal mempergunakan pola logam, pola ditarik dengan pengarah dari pena-pena dan membutuhkan kemiringan 1/200, pola kayu membutuhkan 1/30 sampai 1/200.



**Gambar 2.18** Contoh kemiringan pola

### 2.8.4 Tebal Dinding Minimum Coran [4]

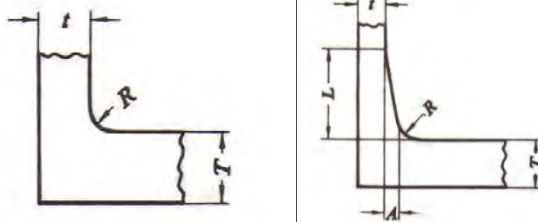
Ukuran coran harus ditentukan sehingga coran mudah dibuat, dinding yang sangat tipis menyebabkan cacat salah alir dan coran tidak baik. Maka tebal minimum harus dipilih sesuai dengan bahannya

**Tabel 2.6** Ketebalan dinding minimum dari pengecoran pasir

Bahan	Ukuran coran (mm)					
	kurang dari 200	200-400	400-800	800-1.250	1.250-2.000	2.000-3.200
Besi cor kelabu	3	4	5	8	8	10
Besi cor mutu tinggi	4-5	5-6	6-8	8-10	10-12	12-16
Besi cor bergrafit bulat.	5-6	6-8	8-10	10-12	12-16	16-20
Baja cor	5	6	8	10	12	16
Baja tahan karat	8	10	12	16	20	25
Brons & kuningan	2	2,5	3	4	5	6
Kuningan tegangan tinggi.	3	4	5	6	8	10
Paduan aluminium	2-3	2,5-4	3-5	4-6	5-8	6-10

### 2.8.5 Sudut siku dan tajam

Bagian yang bersudut siku dan tajam pada coran harus mempunyai radius di sudut dalamnya, kecuali dalam hal-hal khusus karena sudut yang tajam mengakibatkan adanya cacat crack atau pun cacat penyusutan, sehingga perbandingan tebal dari kedua dinding dari sambungan L lebih kecil dari 1:1,5, maka sudut dalamnya cukup mempunyai radius  $R = T/3$  ( $T$ =tebal dinding), dimana kalau perbandingan lebih dari itu, bagian dari kedua dinding harus mempunyai sudut.[2]



**Gambar 2.19** Pertemuan L

$$L=4(T - t)$$

$$A=(T - t)$$

Dimana :

$T$ =ukuran dinding tebal

$t$ = ukuran dinding tipis

Dalam hal ini sudut dari gradient adalah  $15^\circ$ . Radius dari sudut harus

$$R = T/3$$

### 2.8.6 Toleransi Ukuran dari Tebal dan Panjang [2]

Ukuran coran akan menyimpang oleh karena adanya penyimpangan dari pola pada pembuatan cetakan, ketidak telitian pada pemasangan inti, dan variasi penyusutan volume dari coran,sehingga ukuran coran harus diperkenakan dengan batasan toleransi yang terdapat pada **tabel 2.3**.



## 2.9 Aliran Logam Cair [4]

Logam cair yang mengalir dalam sistem saluran dianggap sebagai aliran fluida sehingga dalam perancangan sistem saluran perlu memperhatikan sifat-sifat dari aliran fluida untuk mendapatkan sistem saluran yang tepat. Pada perancangan sistem saluran terbentuknya aliran turbulen sangat dihindari. Aliran turbulen pada sistem saluran dapat mengakibatkan terbentuknya daerah yang bertekanan lebih rendah sehingga akan menyebabkan terjebaknya udara atau gas dalam coran.

## 2.10 Merancang Sistem Saluran [9]

Logam cair yang mengalir dalam sistem saluran dianggap sebagai aliran fluida sehingga dalam perancangan sistem saluran perlu memperhatikan sifat-sifat dari aliran fluida untuk mendapatkan sistem saluran yang tepat. Pada perancangan sistem saluran terbentuknya aliran turbulen sangat dihindari. Aliran turbulen pada sistem saluran dapat mengakibatkan terbentuknya daerah yang bertekanan lebih rendah sehingga akan menyebabkan terjebaknya udara atau gas dalam coran.

Di dalam melakukan perhitungan sistem saluran dibutuhkan beberapa data awal yang akan digunakan untuk menentukan dimensi sistem saluran. Secara matematis perhitungan sistem saluran antara lain:

- a) Menghitung volume pola (V). Gunakan gambar pola ataupun ukuran dari pola yang sudah disertai toleransi ukuran serta penambahan untuk penyusutan, penyelesaian mesin, dan kemiringan pola.

- b) Menghitung berat benda coran (w) dengan menggunakan rumus:

$$w = \rho \cdot V \dots \dots \dots \text{(Pers 2.1)}$$

Dengan massa jenis aluminium,  $\rho = 2,41 \text{ gr/cm}^3$

- c) Menghitung waktu tuang (t) untuk coran dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut:

$$t = f \cdot \sqrt{w} \text{ (pers. 2.1)} \dots \dots \dots \text{(Pers.2.2)}$$

Dimana :  $f$  = Konstanta  
 $t$  = Waktu tuang (detik)  
 $w$  = Berat benda coran (lb)

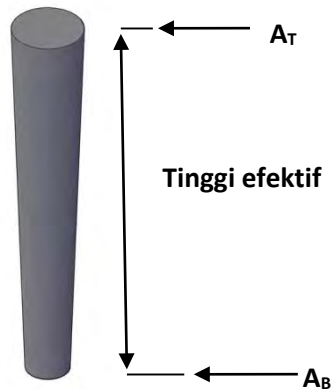
Nilai konstanta  $f$  bervariasi dari 0,9 sampai 2,6.

- d) Menentukan *Choke Area* ( $A_B$ ) dapat dihitung berdasarkan rumusan:

$$A_B = \frac{w}{d.t.c.\sqrt{2.g.h}} \dots\dots\dots(\text{pers. 2.3})$$

Dimana:

$A_B$  = Luasan penyempitan *Choke Area* (mm<sup>2</sup>)  
 $w$  = Berat coran (gr)  
 $\rho$  = Densitas logam cair (gr / cm<sup>3</sup>)  
 $t$  = Waktu penuangan (detik)  
 $h$  = Ketinggian efektif saluran turun (cm)  
 $g$  = Percepatan gravitasi (981 cm/det<sup>2</sup>)  
 $c$  = Faktor efisiensi dari saluran turun (0,88)



**Gambar 2.20** *Area sprue*

- e) Menentukan *Area of the Top of Sprue* ( $A_T$ ) dapat dihitung dengan rumusan:

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{h_1}{b}} \text{ (pers. 2.3)}$$

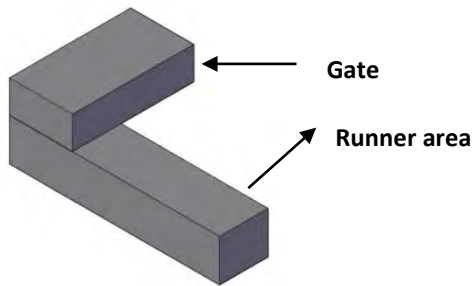
Dimana :

$A_B$  = Choke Area (mm<sup>2</sup>)

$h_1$  = Ketinggian saluran turun (mm)

$b$  = Kedalaman logam pada cawan tuang (mm)

- f) Menentukan luasan pengalir (*runner area*) dan luasan saluran masuk (*gate area*) dengan menggunakan rekomendasi AFS horizontal maka untuk menentukan luasan pengalir menggunakan perbandingan antara *choke area* : *runner area* : *gate area* = 1 : 4 : 4. Maka *runner area* sama dengan empat kali *choke area* dan *gate area* sama dengan empat kali *choke area*



**Gambar 2.22** Gate dan runner area

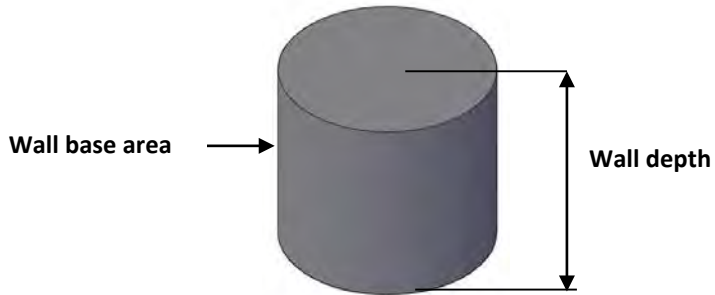
- g) Menghitung Saluran Turun Dasar (*Well Base*)

Perumusan *well base* sebagai berikut:

*Well base* = 5 x  $A_B$

*Well depth* = 2 x kedalaman runner

Di mana :  $A_B$  = Choke Area (mm<sup>2</sup>)

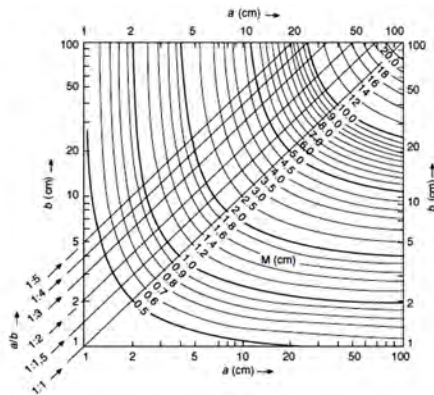


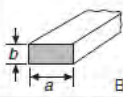
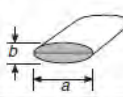

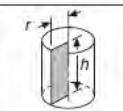
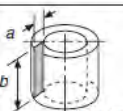
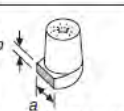
**Gambar 2.23** *Wall base area*

### 2.10.1 Merancang *Riser*

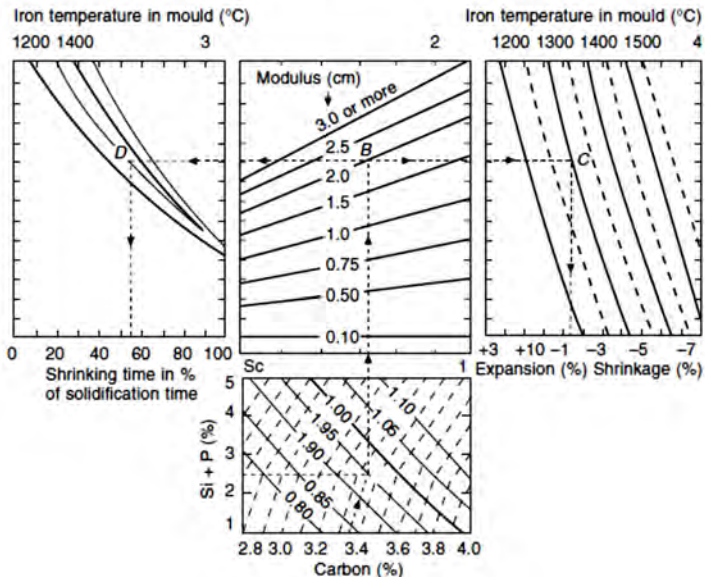
Langkah-langkah untuk merancang *riser* pada proses pengecoran dengan metode **Jhon R. Brown** (*Foseco Ferrous Foundryman*) dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

- a) Menentukan nilai modulus (C%) yang efisien sesuai dengan jenis *riser*.
  - 33% apabila menggunakan *Foseco sleeve*.
  - 16% apabila menggunakan *natural feeder/riser* (logam cair mengalir sebelum mencapai rongga cetak).
  - 10%-14% untuk *natural feeder* yang lainnya.
- b) Menentukan nilai *shrinkage* pada paduan yang akan dicor. Nilai *shrinkage* untuk pengecoran paduan diberikan pada gambar 2.20.



 <p>Bar</p> $M = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$	 $M = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$	 $M = \frac{r \cdot h}{2(r + h)}$
 $M = \frac{r \cdot h}{2(r + h)}$	 <p>Annulus</p> $M = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$	 <p>Feeder neck</p> $M = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}$

**Gambar 2.24** Casting modulus.



**Gambar 2.25** Persentase penyusutan[4].

- c) Memperkirakan berat logam cair yang ada di dalam *riser* ( $W_F$ ) dengan terlebih dahulu menentukan berat dari benda yang akan di cor ( $W_C$ ). Hubungan antara  $W_F$  dan  $W_C$  dapat dilihat pada rumus berikut:

$$W_F = W_C \times \frac{100}{C\%} \times \frac{S\%}{100}$$

Dengan mendapatkan berat logam cair yang ada di dalam riser ( $W_F$ ) maka dapat ditentukan dimensinya.

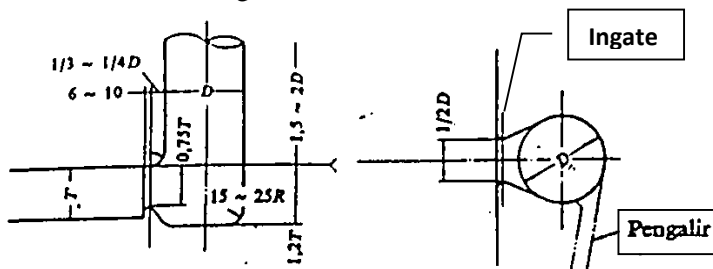
Sedangkan dengan metode **Tata Surdia** perancangan riser dengan bahan atau material coran besi adalah sebagai berikut[4] :

Tabel 2.2 Penentuan diameter penambah[4].

Kekuatan tarik bahan	Diameter (D) (mm)	
	Penambah samping	Penambah atas
20-25 kgf/mm <sup>2</sup>	T + 30	T + 40
≥ 30 kgf/mm <sup>2</sup>	T + 40	T + 50

Catatan : T = Tebal bagian coran di bawah penambah.

Dan desain riser untuk metode Tata Surdia adalah untuk coran besi adalah sebagai berikut[5] :

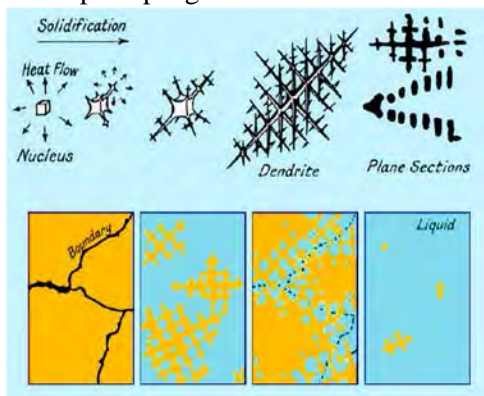


**Gambar 2.26** Desain dan ukuran penambah samping[4].

## 2.11 Proses Solidifikasi

Proses solidifikasi adalah proses transformasi logam cair ke wujud padatnya (solid), disaat itu pula tumbuh inti padatan (*nuclei*). Inti tersebut tumbuh biasanya dibawah temperatur meltingnya, setelah terbentuknya *nuclei* maka terjadi pertumbuhan solidifikasi, atom-atom yang menempel pada *nuclei* akan tersolidifikasi dan seterusnya. Solidifikasi dari atom-atom logam ini akan membentuk suatu struktur yang biasa disebut dengan dendrit. Dendrit akan tumbuh ke segala arah sehingga cabang-cabang akan saling bertemu dan bersentuhan. Pertemuan

antar dendrit disebut batas butir. Setelah itu, batas butir antar tiap dendrit membeku seiring dengan penurunan suhu. Sehingga proses solidifikasi pada pengecoran berakhir.



**Gambar 2.27** Proses solidifikasi

## 2.12 Sistem Saluran Menurut Standar AFS [4]

Berdasarkan *American Foundrymen's Society* (AFS) sistem saluran yang optimal dapat dibuat berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

1. Sistem saluran menggunakan sistem tanpa tekanan dimana perbandingan antara luasan saluran turun : pengalir : saluran masuk adalah 1 : 4 : 4
2. Saluran turun yang digunakan adalah saluran turun yang meruncing dengan bagian bawah saluran turun mengecil merupakan luasan penyempitan.
3. Menggunakan cawan tuang.
4. *Sprue Base* digunakan untuk menyerap energi kinetik yang jatuh dari saluran turun.
5. Pengalir diletakkan di *drag* dan saluran masuk di *cup*.
6. Perpanjangan pengalir digunakan untuk menjebak slag atau pengotor dari logam cair.

## 2.13 Macam Cacat Coran [4]

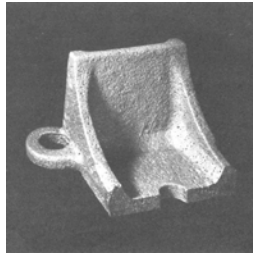
Pada proses pengecoran banyak sekali adanya cacat pada produk. Apabila produk tersebut akan di produksi dan banyak

adanya cacat coran maka banyak pula kerugian yang didapatkan, sehingga cacat tersebut harus di kurangi semaksimal mungkin.

Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi cacat pada coran, misal desain sistem saluran yang kurang masimal, waktu penuangan yang terlalu lama, dll. Cacat-cacat tersebut biasanya berupa cacat penyusutan, porositas, salah alur, retakan, slag, dross inklusi pasir dan masih banyak cacat-cacat yang lain. Dari semua cacat-cacat tersebut dapat diketahui dan dapat dilakukan pencegahannya.

### **2.13.1 Rongga udara [4]**

Rongga udara adalah cacat yang paling banyak terjadi dalam berbagai bentuk. Rongga udara dapat muncul sebagai lubang padapermukaan atau di dalam coran, terutama sedikit di bawah permukaan yang merupakan rongga-rongga bulat.



**Gambar 2.28** Cacat rongga udara

Sebab-sebab cacat rongga udara secara kasar digolongkan menjadi dua, yaitu disebabkan gas dari logam cair dan disebabkan gas dari cetakan. Sebab utama dari rongga udara adalah sebagai berikut :

- 1) Logam cair yang dioksidasi.
- 2) Tidak cukup keingnya saluran cerat dan label, logam cair membawa gas.
- 3) Temperatur penuangan yang rendah.
- 4) Penuangan yang terlalu lambat.
- 5) Cawan tulang dan sistem saluran yang basah.
- 6) Permeabilitas yang kurang sempurna.
- 7) Lubang angin yang tidak memadai pada inti.



- 8) Cetakan yang kurang kering.
- 9) Terlalu banyak gas yang timbul dari cetakan.
- 10) Tekanan di atas terlalu rendah.
- 11) Rongga udara oleh penyangga, cil atau cil dalam.

### **2.13.2 Retakan [4]**

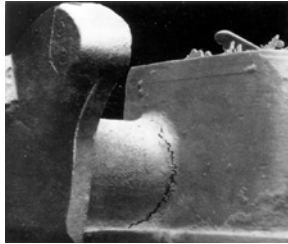
Retakan secara luas dibagi menjadi retak penyusutan dan retak karena tegangan sisa, sebabnya berbeda satu sama lain. Retak penyusutan sering terjadi pada bagian filet yang tajam dari suatu coran. Lebar cetakan berbeda, tetapi bentuk retakan tidak tajam.

Salah satu retakan yang disebabkan tegangan sisa adalah robekan panas yang terjadi pada temperatur tinggi, dan lainnya retakan pada temperatur rendah. Keduanya disebabkan karena pendinginan tak seimbang pada penyusutan. Robekan panas tidak tajam dan dalam beberapa hal tidak kontinu, tetapi robekan pada temperatur rendah, tidak lebar, runcing dan lurus.

Kalau bagian yang sedang membeku menyusut, bagian beku menarik logam yang belum cukup membeku, sehingga terjadi retakan penyusutan. Selanjutnya retakan bisa menjadi besar karena penyusutan dalam keadaan padat. Retak penyusutan mudah terjadi pada bagian persilangan dinding tebal dan sudut-sudut tajam. Kalau bagian ini tersapu oleh logam cair untuk waktu yang lama, maka retak penyusutan mudah diteruskan.



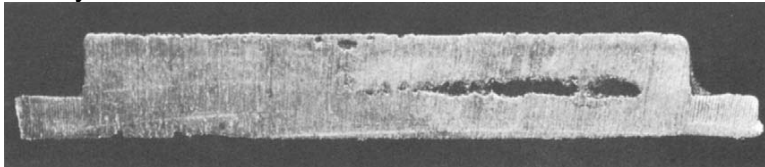
**Gambar 2.29** *Cacat surface crack*



**Gambar 2.30** Cacat *hot tears*

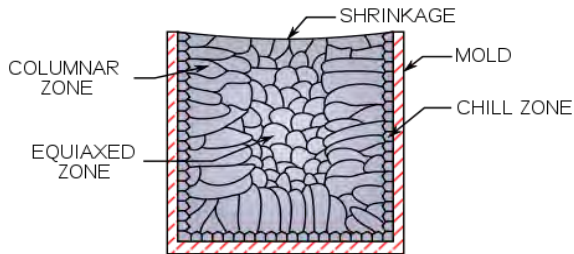
### 2.13.3 Penyusutan (*Shrinkage*) [4]

Pada setiap pembuatan cetakan (*mould*) harus selalu memperhitungkan terjadinya penyusutan (*shrinking*) setelah terjadi pendinginan dan keluar dari rongga cetakan. Hal itu terjadi karena adanya perubahan fase dari material cair menjadi padat sehingga akan terjadi perubahan volume. Jadi jika dibandingkan dengan ukuran pada rongga cetak, ukuran produk akan berbeda, yaitu ukurannya menjadi lebih kecil dibandingkan rongga cetaknya.



**Gambar 2.31** Cacat penyusutan

Proses pembekuan logam cair dimulai dari bagian logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan karena panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku. Selama proses pembekuan berlangsung, inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, terbentuklah arah pembekuan yang disebut dendritik.



**Gambar 2.32** Ilustrasi terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*)

Bentuk benda coran mempengaruhi terjadinya cacat *shrinkage*. Untuk itu, dihindari benda coran yang memiliki perubahan tebal yang sangat besar serta bidang lengkung yang memerlukan pekerjaan tangan diubah menjadi datar. Adanya perubahan tebal yang terlalu besar dan bentuk benda coran yang rumit memperbesar kemungkinan terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*).

Cacat penyusutan(*shrinkage*) merupakan cacat pada coran berupa rongga dengan bentuk tidak beraturan dan permukaannya kasar yang terjadi karena penyusutan volume logam cair pada saat proses pembekuan dan tidak mendapatkan pasokan logam cair dari *riser*. Pada saat logam membeku, tiap bagian coran yang berbeda bentuknya memiliki kecepatan pembekuan yang berlainan sehingga cacat tersebut mudah terjadi pada bagian yang paling lambat membeku. Sebab-sebab adanya rongga penyusutan antara lain sebagai berikut:

- 1) Temperatur penuangan yang terlalu rendah menyebabkan *riser* membeku terlebih dahulu sehingga pengisian logam cair sebagai kompensasi .
- 2) Logam cair yang dialirkan mengandung banyak karat dan kotoran .
- 3) Perencanaan dan pembuatan *riser* kurang sempurna .
- 4) Logam cair yang dioksidasi menyebabkan perbandingan penyusutan yang besar .
- 5) Ukuran leher *riser* yang tidak cukup.
- 6) Penempatan *riser* yang tidak tepat .

- 7) Cetakan membengkak karena tekanan dari logam cair di tempat yang kurang mampat.
- 8) Perubahan yang mendadak dari ketebalan irisan menyebabkan sukar proses pengisian dari *riser*.
- 9) Terdapat bagian coran yang cekung terlalu tajam atau mempunyai radius terlalu kecil.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

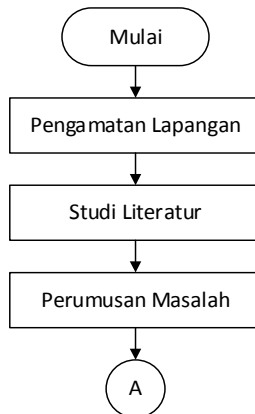
## BAB 3 METODOLOGI

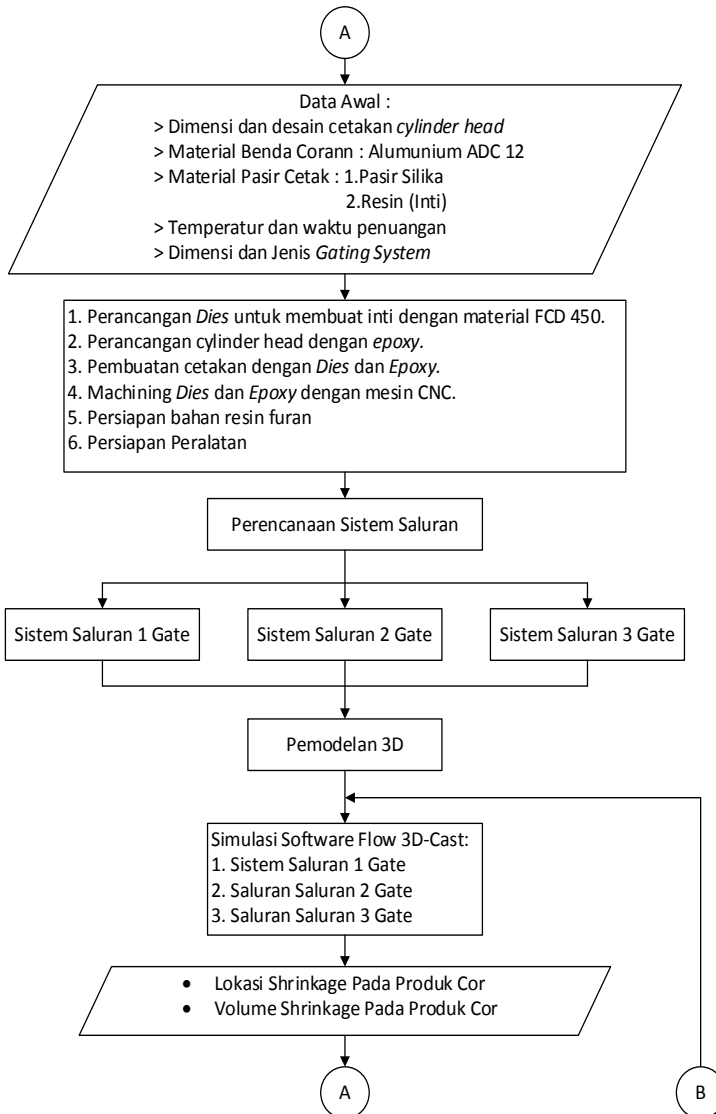
### 3.1 Flow Chart Penelitian

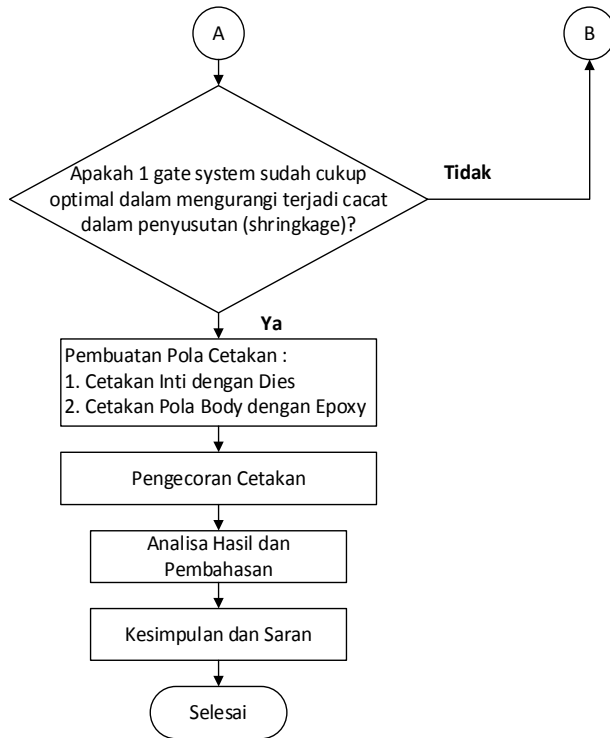
Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan, yaitu :

- 1) Pengamatan lapangan.
- 2) Studi literatur.
- 3) Perumusan masalah.
- 4) Perancangan *dies cylinder head*.
- 5) Pembuatan pola *dies* dan inti cetakan.
- 6) Pembuatan cetakan.
- 7) Persiapan alat dan bahan.
- 8) Simulasi pengecoran dengan *Flow-3D casting*.
- 9) Proses Pengecoran.
- 10) Analisa data.
- 11) Kesimpulan dan saran.

Dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) seperti ditunjukkan pada gambar berikut :







**Gambar 3.1** Flow Chart Penelitian

### 3.2 Pengamatan Lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan di perusahaan pengecoran yang telah bekerjasama dengan ITS dalam pembuatan engine mobil untuk memperoleh suatu kasus yang berkaitan dengan proses pengecoran, yang kemudian akan dijadikan bahan untuk diteliti. Selain itu dengan pengamatan lapangan akan diketahui cacat yang terjadi dan bentuk cacat secara visual yang akan membantu untuk analisa yang dilakukan.

### 3.3 Studi Literatur

Meliputi pengumpulan berbagai literature atau buku-buku referensi yang berkaitan dengan perancangan dan simulasi proses



pengecoran logam dengan piranti lunak flowcast 3D pada buku – buku atau referensi-referensi pendukung. Tinjauan pustaka ini dilakukan untuk menambah dasar ilmu dalam menganalisa kasus atau permasalahan selain teori yang didapatkan dari perkuliahan.

### 3.4 Perumusan Masalah

Setelah melakukan pengamatan lapangan ditetapkan satu kasus untuk dirumuskan menjadi suatu permasalahan yang akan diteliti. Penetapan batasan masalah untuk memperjelas lingkup penelitian.

### 3.5 Simulasi dengan Menggunakan *Flow-3D Casting*

Hasil perancangan yang telah didapatkan kemudian disimulasikan dengan menggunakan Flow-3D Casting. *Database* untuk mengisi dari benda coran adalah alumunium alloy atau ADC 12 atau JIS H 5302 :<sup>2000</sup> dengan temperature tuang 689 °C – 700 °C.

### 3.6 Material Benda Cor

Material yang digunakan adalah paduan alumunium ADC 12 dengan komposisi kimia paduan menurut Standard JIS H5302 sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Elemen Paduan JIS ADC 12

ELEMEN PADUAN	ADC 12 (JIS)		ADC 12 (PTICCI)	
<b>Cu</b>	1.5- 3.5	wt%	1.65	wt%
<b>Si</b>	9.6 - 12	wt%	10.12	wt%
<b>Mg</b>	0.3 maks	wt%	0.241	wt%
<b>Zn</b>	1.0 maks	wt%	0.8	wt%
<b>Fe</b>	1.3 maks	wt%	0.79	wt%
<b>Mn</b>	0.5 maks	wt%	0.147	wt%
<b>Ni</b>	0.5 maks	wt%	0.06	wt%
<b>Sn</b>	0.2 maks	wt%	0.022	wt%
<b>Pb</b>		wt%		wt%
<b>Ti</b>		wt%	0.039	wt%
<b>Al</b>	Remainder	wt%	86.131	wt%

### 3.7 Data Awal Cetakan dan Material

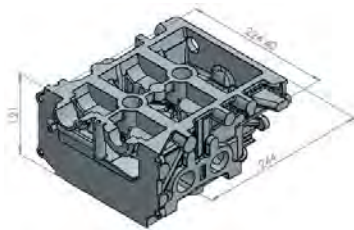
Jenis material dari benda coran adalah Aluminium paduan jenis ADC 12. Sedangkan jenis material cetakannya menggunakan cetakan logam atau dies dengan material yang sama yaitu FCD 450. Waktu tuang yang digunakan adalah 15 sekon dengan temperature tuang 685°C.

Benda coran yang akan segera dicor adalah *Cylinder Head* memiliki dimensi :

Panjang : 244 mm

Lebar : 224.40 mm

Tinggi : 121 mm



**Gambar 3.2** Model *Cylinder Head* 650 cc

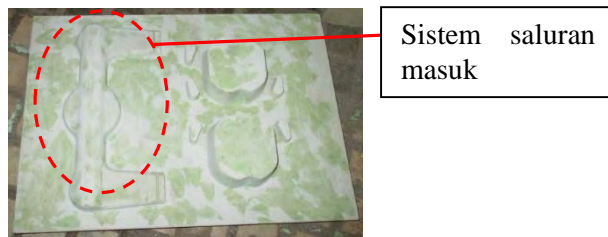
### 3.8 Perencanaan Perancangan dan Pembuatan Cetakan *Dies Cylinder Head*

Sebelum melakukan pembuatan *dies*/cetakan maka dilakukan pengamatan terhadap cylinder head yang sudah ada, misal *cylinder head* Mitsubishi L100 yang dirancang ulang kemudian pembuatan cetakan untuk *cylinder head* dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu dengan cetakan epoxy dan cetakan *mould dies*. Dalam pengecoran ini dilakukan perancangan system saluran menurut standard AFS untuk menentukan dimensi-dimensi pada system saluran, misal : luasan penampang *sprue*, *raiser* dan *gating*.

### 3.9 Pembuatan Sistem Saluran

Sebelum pembuatan sistem saluran, maka dilakukan perhitungan menurut AFS untuk menentukan dimensi-dimensi pada sistem saluran, misal luasan pada *sprue*, *runner* dan *gating*

dengan satu saluran, dua saluran, dan tiga saluran. Karena material yang digunakan adalah material *aluminium* maka harus benar-benar teliti agar cairan tepat mengisi rongga-rongga pada cetakan untuk menghindari penyusutan yang cepat. Setelah dimensi dapat dihitung selanjutnya adalah membuat system saluran, langkah pertama menyiapkan bahan biasanya menggunakan kayu triplek, kemudian membentuk sesuai ukuran dengan proses permesinan dan pemotongan menggunakan cutting tools selanjutnya tahap akhir adalah melakukan proses dempul dan di epoxy pada sistem saluran tersebut.



**Gambar 3.3** Sistem saluran masuk dengan menggunakan material epoxy

### 3.10 Pembuatan Pola














Pola merupakan suatu model dari produk yang kita inginkan, untuk pola *cylinder head* yang digunakan adalah metode pola belah. Berikut langkah- langkah dalm pembuatan pola sebagai berikut :

- 1 Dalam membuat pola negative *cylinder head* sebagian ada yang dibuat dari cetakan dies yang terbuat dari logam FCD 45 dan epoxy, pada epoxy cairan yang terdiri dari larutan lem *epoxy* hardener kental ditambah lem *epoxy resin* cair. Perbandingan antara campuran *epoxy* hardener kental dan *epoxy resin* cair yaitu 1:1, ditambah juga pasir lembut (pasir bahan pembuat bedak), kemudian ditambahkan dipasang kerangka kayu triplek dipasang sebagai kerangka bagian luarnya sebagai pembatas agar hasil yang didapat

lebih kuat dan dibiarkan mengeras selama 24 jam. Setelah 24 jam maka pola negatif dilepas dari pola *cylinder head* yang sudah jadi.

2. Dalam membuat inti/*core* sebagian besar menggunakan material FCD 45 sebagai cetakannya, tahap awal membuat bakalan terlebih dahulu kemudian finishing dilakukan dengan proses permesinan CNC dengan tujuan inti/kern harus dibuat dengan presisi, dalam proses machining membutuhkan ketelitian dan waktu yang lama.
3. Melakukan finishing pada epoxy yaitu dengan cara pengamplasan pada bagian-bagian permukaan yang kasar dan penambalan pada bagian yang retak dan berlubang dengan dempul. Perlakuan ini dilakukan pada bagian samping – samping pola cetakan *cylinder head*.
4. Dalam pembuatan pola positif pada *cylinder head* yaitu dengan cara hasil dari pola negatif yang sudah jadi disusun kembali dan dituangi campuran *epoxy hardener* kental, *epoxy resin* cair, pasir lembut ditambahkan kayu. Dibiarkan selama 24 jam agar mengeras, kemudian dilepas dari cetakan negatif.
5. Melakukan proses finishing pada pola *cylinder head* positif yaitu dengan cara pengamplasan pada bagian-bagian permukaan yang kasar dan penambalan pada bagian yang retak atau berlubang dengan dempul.
6. Setelah model pola positif terbentuk maka tahap pembuatan inti/kern. hasil cetakan dari epoxy tersebut di cor yang terdiri dari beberapa bagian untuk mendapatkan hasil permanen yang kemudian langsung diproses satu persatu bagian menjadi *cylinder head* yang utuh. Kemudian cetakan dies inti kern diisi dalam bentuk cetakan resin furan lalu dibakar dengan gas acetelin 200°-300° celcius sampai resin mengeras lalu kemudian disusun sesuai pola cetakannya.

### 3.10.1 Tahap Pembuatan Pola Mould Dies Untuk Pembuatan Inti/Core

Material Bakalan FCD 45	Machining Process	No	Part Dies	Assembly Dies	Final Assembly
		1			A+B
		2			
		1			C+D+E+F
		2			
		3			
		4			
<div><div>A+B</div><div>C+D+E+F</div></div>					

**Gambar 3.4** Tahap Pembuatan Cetakan *Part Mould Dies* *Cylinder Head* dengan FCD 45

Bagian-bagian *dies* lainnya dalam pembuat inti *cylinder head*

No	Part Dies	Final Dies Assembly	Keterangan
1			Dies cetakan inti/core lapisan 1
2			Dies cetakan inti inti/core lapisan 3

**Gambar 3.5** Bagian cetakan inti pendukung *cylinder head*.  
Peralatan pembuatan *mould dies* inti terdiri dari :



(a)



(b)







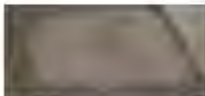


(c)

(d)

**Gambar 3.6** Mesin dan peralatan pembuatan dies *cylinder head*: (a)CNC machine,(b) Cutting Tool, (c) Lathe machine, (d) Drill Machine

### 3.10.2 Tahap Pembuatan Pola Cetakan dengan Epoxy

No	Gambar	Keterangan
1		Ukur dimensi benda kerja untuk membuat pola yang akan di epoxy sesuai dengan gambar design.
2		Oleskan seluruh permukaan pola kayu dengan menggunakan perekat khusus agar pola balok kayu lebih rapih dan lebih mudah di cetak.
3		Hasil pola kayu yang telah diberi dengan perekat khusus tampak lebih kuat dan hasil lebih halus.

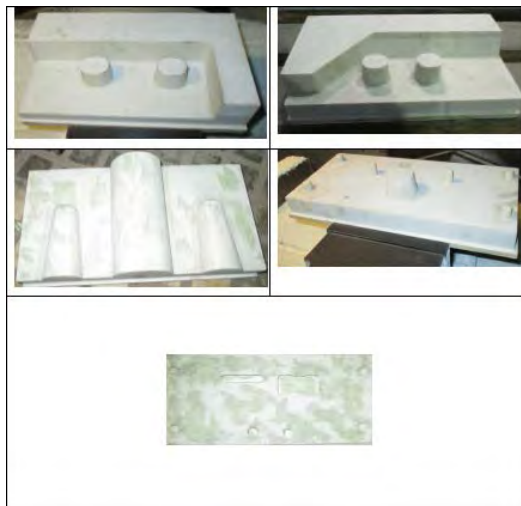
4		Campur larutan Cairan Lem Epoxy hardener kental dan Epoxy resin kemudian dicampur dengan perbandingan 1 : 1
5		Siapkan pasir lembut/bubuk bedak yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan epoxy yang relatif mahal.
6		Aduk sampai rata cairan epoxy yang sudah dicampur kemudian ditambah bubuk bedak dengan perbandingan takaran 2 : 1
7		Setelah diaduk maka campuran tersebut perlahan-lahan dimasukkan ke dalam cetakan yang berbentuk balok sampai padat, kemudian dibiarkan selama 24 jam agar mengeras dengan sendirinya.
8		Setelah 24 jam maka cetakan balok tersebut dibongkar kemudian jadilah cetakan balok untuk dilakukan proses machining dengan mesin CNC.
9		Balok yang sudah jadi akan menjadi bakalan benda yang kemudian akan di proses dengan mesin CNC dengan tujuan cetakan epoxy akan lebih rapih dan presisi.



10		Gambar disamping merupakan cetakan <i>part cylinder head</i> sedang dalam proses machining.
11		Gambar disamping merupakan hasil dari machining <i>part cylinder head</i>

**Gambar 3.7** Tahap Pembuatan Cetakan *Part Cylinder Head* dengan Epoxy

Di bawah ini merupakan *part cylinder head* hasil cetakan dengan epoxy, untuk prosesnya hampir sama langkah-langkahnya pada gambar 3.7.



**Gambar 3.8** Hasil cetakan *part cylinder head* lainnya dengan material epoxy setelah proses machining

Peralatan pembuatan pola terdiri dari :

1. Mesin Bubut
2. Mesin Potong
3. Mesin Gergaji
4. Mesin Gerinda



(a)



(b)



(c)




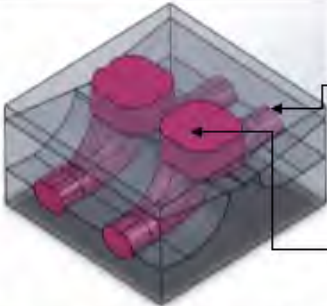

(d)





**Gambar 3.9** Peralatan pembuatan pola : (a) *Lathe Machine*,  
(b) *Cutting machine*, (c) *Jig Saw*, (d) *Grinding Machine*

### 3.11 Pembuatan Inti/Core

Pada pembuatan beberapa inti didalam kepala silinder menggunakan bahan resin furan 2% sampai dengan 3% sebagai pengikat dengan menggunakan mould dies sebagai wadah cetakan inti/kern. Cara kerja pembuatan inti/kern yaitu dengan cara dipanaskan terlebih dahulu *mould dies* sampai dengan temperature 200 °C – 250 °C kurang lebih 15 menit lalu

kemudian dimasukkan pasir resin furan kemudian dipanaskan kembali cetakan tersebut sampai dengan suhu yang sama kurang lebih 5 menit agar hasil inti/kerem tidak cepat hancur akibat dari panas yang terlalu tinggi.

Tahap Pembuatan Inti Dies Set <i>Cylinder Head</i>		
No	Gambar	Keterangan
1		Bagian <i>Cylinder Head</i> yang akan di buat inti/kern.
2		Part Mould Dies Set <i>Cylinder Head</i>  Resin Furan
3		Gambar disamping merupakan <i>mould dies</i> untuk membuat bagian inti/kerem. Material <i>mould dies</i> ini menggunakan material FCD 45.

4		Gambar disamping merupakan tahap pemanasan dalam <i>dies</i> dengan suhu antara $200^{\circ}\text{C}$ – $250^{\circ}\text{C}$ kurang lebih 15 menit dengan tujuan agar permukaan terbentuk sempurna pada saat pengisian resin.
5		Gambar disamping merupakan tahap pengisian pasir resin furan. Pengisian resin furan ini harus dilakukan dengan cepat agar resin tidak cepat hancur dan panas pada <i>dies</i> tidak cepat hilang.
6		Setelah resin terisi penuh ke dalam cetakan maka dilakukan pemanasan kembali dengan suhu $200^{\circ}\text{C}$ – $250^{\circ}\text{C}$ kurang lebih 5 menit pada permukaan resin agar cepat mengeras.
7		Gambar disamping merupakan tahap setelah pemanasan resin selama 5 menit, setelah cukup keras maka dilakukan tahap pembongkaran.

8		Proses bongkar resin harus berhati-hati,yaitu dengan cara di ketuk-ketuk pada bagian samping-samping <i>dies</i> agar cetakan resin dapat keluar dengan sendirinya secara perlahan.
9		Gambar disamping merupakan hasil cetakan untuk inti pada <i>dies set</i> dengan resin furan.
10		Gambar disamping merupakan hasil cetakan resin yang gagal cetak dikarenakan pemanasan yang berlebih atau pada saat pembongkaran yang kurang hati-hati makan cetakan akan cepat patah.

**Gambar 3.10** Tahapan pembuatan Inti/Core

### 3.12 Pasir Cetak

Pasir cetak yang digunakan pada penelitian ini adalah Cetakan Mengeras Sendiri Dengan Pengikat Organik. Apabila pengikat khusus dibubuhkan pada pasir cetak maka cetakan yang dibuat dari campuran ini mengeras secara alamiah. Dalam hal ini peniupan CO<sub>2</sub> tidak perlu. Oleh karena itu cetakan demikian disebut cetakan mengeras sendiri. Sebagai pengikat dipakai bahan organik. Reaksi pengerasan segera atau beberapa saat setelah pencampuran pasir dengan pengikat. Oleh karena itu waktu pengolahan pasir harus cocok dengan waktu pembuatan cetakan,

dan tidak baik membiarkan campuran pasir untuk waktu yang lama setelah pencampuran.



**Gambar 3.11** Proses pencampuran pasir silica dengan pengikat organik

### **3.13 Pembuatan Pola Cetakan**

Pola yang sudah dibuat diletakkan diatas pasir yang sebelumnya sudah dibuat dengan campuran antara pasir silica dengan *water glass* kemudian dikeraskan dengan  $\text{CO}_2$ . Pada bagian bawah cetakan ini sudah dibuat *pouring basin*. Selanjutnya dilakukan pembuatan cetakan pada bagian samping – samping pola dengan menggunakan pasir silica yang dicampur dengan cairan *resin furan* dan *resin fenol*. Setelah semuanya tercampur maka dengan cepat dimasukkan kedalam cetakan pasir yang telah dipasang pipa sebagai *sprue*, dan dibiarkan sampai mengeras. Selain pembuatan pada bagian samping cetakan, maka perlu dibuat cetakan inti. Dimana pada bagian ini bahan yang digunakan sama tetapi cara pembuatannya berbeda, karena pada pembuatan inti disini sudah dibuatkan kotak intinya. Sehingga tinggal dimasukkan campuran pasir cetak tadi kedalam kotak ini kemudian dipadatkan hingga pasir masuk sampai rongga cetakan, ditunggu sampai mengeras dan dilepas.

Bagian – bagian cetakan pasir yang sudah dibuat tadi dioleskan cairan *coating* berwarna biru dan dibakar. Kegiatan

ini dilakukan agar cetakan dan bahan coran dapat terpisah pada saat dilakukan pengecoran. Bagian yang sudah dibakar tadi ditata kembali pada bagian bawah cetakan dan inti juga dipasang. Pemeriksaan hasil penataan cetakan dilakukan agar hasil cetakan didapatkan hasil yang diinginkan. Dipasang bagian atas cetakan, pada bagian ini sudah dibuat lubang saluran turun, riser dan ventilasi. Setelah semua bagian terpasang, untuk memperkuat cetakan tersebut maka diberi kerangka dari besi *flash* dan ditutup dengan pasir silika yang sudah dicampur dengan *waterglass* dan dikeraskan dengan  $\text{CO}_2$ .

#### 3.13.1 Persiapan pola

Pola yang digunakan dalam proses pengecoran ini adalah pola yang terbuat dari kayu yang dilapisi dengan lem *epoxy* seperti gambar 4.8 di bawah ini dengan empat saluran masuk.



**Gambar 3.12** Pola epoxy negatif *cylinder head*

#### 3.13.2 Pencampuran Pasir Cetak

Pasir cetak yang digunakan dalam proses pengecoran ini adalah pasir *silica* dicampur *hardener* sebagai perekat dimana pada cairan perekat disini terdiri dari perekat kental dan perekat cair, dengan perbandingan 5 : 1. Proses pencampuran pasir *silica*, *hardener* diaduk sampai merata dengan menggunakan tangan, perbandingan campuran antara pasir *silica* dengan *hardener* adalah 20 : 2.





**Gambar 3.13** Pencampuran pasir cetak : a) Pasir ditambahkan *hardener*, b) Proses pengadukan

### 3.13.3 Pembuatan cetakan pasir

Untuk pembuatan cetakan pasir langkah awal adalah menyiapkan rangka cetak/*frame*.

#### 3.13.3.1 Pembuatan cetakan bagian bawah

Membuat cetakan pada bagian bawah yaitu dengan cara menyiapkan pola yang diletakkan pada bagian yang datar dan ditengah – tengah *frame*. Setelah terpasang semua pasir *silica* dimasukkan kedalam *frame* sampai penuh kemudian ditiupkan CO<sub>2</sub> agar mengeras. Pembuatan sistem saluran pada bagian bawah ini dengan cara melubangi pasir yang sudah mengeras sehingga membentuk profil *well base* dan *gate*.



**Gambar 3.14** Pembuatan bagian bawah dan proses pembuatan system saluran



### 3.13.3.2 Pembuatan cetakan untuk pola positif

1. Mempersiapkan kerangka cetakan dari triplek dan dipasangkan pada bagian samping pola blok silinder. Pola dan sistem saluran ditaburi bubuk pelapis yang tersebar merata seperti pada gambar 4.11 untuk mempermudah saat pengambilan pola



**Gambar 3.15** Pemasangan kerangka cetakan

2. Mempersiapkan pasir cetak dengan cara mencampur antara pasir *silica* dengan *hardener*. Setelah pasir cetak tercampur maka segera mungkin dimasukkan kedalam kerangka cetakan yang sebelumnya sudah di masukkan saluran turun. Ditumbuk dan diratakan sampai merata pada seluruh bagian. Ditunggu sampai beberapa menit hingga pasir cetak benar – benar mengeras.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 3.16** Pembuatan rongga cetak : a) Pengisian pasir cetakan, b) Pelepasan rangka cetakan.,c) Hasil cetakan , d) Hasil seluruh cetakan

3. Proses pembuatan cetakan pada bagian samping ini diulangi lagi pada semua bagian – bagian samping pola *cylinder head*. Sehingga didapatkan hasil dari cetakan seperti pada gambar



**Gambar 3.17** Pemasangan semua hasil cetakan bagian samping dan inti/kern

### 3.13.3.3 Pembuatan Cetakan Bagian Atas/frame

1. Proses pembuatan cetakan bagian atas yaitu dengan cara *frame* diletakan diatas pola cetakan dan ditaburi bubuk pelapis. Pemasangan sistem saluran yang terdiri dari *riser* 4 buah dan saluran turun. Pasir *silica* dicampur dengan *hardener* kemudian diisikan kedalam *frame* dengan cepat, tetapi tidak sepenuhnya terisi semua. Untuk memenuhi *frame* yang sudah kosong maka ditambahkan pasir cetak dengan pengeras  $\text{CO}_2$ , ini dimasukkan agar dapat cetakan dapat dengan mudah dimodifikasi untuk sistem salurannya.



(a)

(b)

**Gambar 3.18** Pembuatan cetakan bagian atas : a)Pemasangan system saluran, b) Pasir cetak dimasukkan kedalam frame

2. Pasir cetak yang telah di masukkan tersebut dibentuk dengan menutupi sistem saluran yang sudah dipasang sebelumnya dengan menggunakan spatula. Pola saluran turun dan *riser* dilepaskan dari cetakan dan membuat cawang tuang. Untuk mengatasi agar Setelah semuanya sudah dibentuk dan diratakan maka selanjutnya ditiupkan CO<sub>2</sub> agar pasir cetak mengeras.



**Gambar 3.19** Pembuatan cetakan frame bagian atas : a) pelepasan pola system saluran, b) Pasir cetak ditiupkan CO<sub>2</sub>




3. Cetakan yang sudah mengeras tersebut diangkat dan dibalik ditetakkan dibawah. Selanjutnya dilakukan proses pembuatan *gate*, dimana cara pembuatannya yaitu dengan cara melubangi pasir sampai membentuk *gate* dengan menggunakan plat besi yang dipukul dengan palu.






*Ingate System*

**Gambar 3.20** Pembuatan *Gate* (saluran masuk)

### 3.13.4 Tahap Pemasangan Inti ke Dalam Cetakan

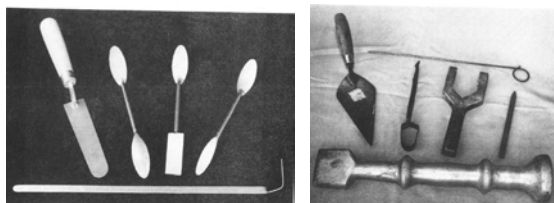
No	Gambar	Keterangan
1		Susun bagian-bagian pola positif lalu kemudian dipasang inti/core pada bagian dasar <i>frame</i>
2		Pasang inti/kern lapisan ke dua yang berfungsi sebagai saluran udara diatas permukaan inti core lapisan pertama.
3		Lakukan pengecekan dengan senter pada setiap pemasangan inti/ <i>core</i>
4		Pemasangan inti/kern tingkatan yang ketiga.

5		Pemasangan inti/core lapisan yang terakhir.
6		Model cetakan pola positif untuk saluran tuang/sprue dan saluran riser.
7		Penyusunan seluruh bagian cetakan pola positif dan inti pada saat sebelum dilakukan penuangan material.

**Gambar 3.21** Tahap pemasangan inti kedalam cetakan

### 3.14 Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum melakukan pengecoran maka dipersiapkan peralatan dan bahan terlebih dahulu. Alat yang digunakan untuk membuat cetakan ada pada gambar berikut :



**Gambar 3.22** Peralatan untuk membuat cetakan

Bahan yang digunakan untuk pembuatan cylinder head adalah aluminium, untuk memudahkan proses peleburan maka aluminium dipotong menjadi potongan - potongan yang sesuai kemudian dipanaskan pada dapur. Selama pencairan, permukaan harus ditutup dan cairan diaduk kemudian tunggu  $\pm 3$  jam peleburan.



(a)



(b)

**Gambar 3.23** Kawat unsur paduan aluminium ADC 12 (a) dan sampah (*scrap*) velg mobil yang sedang di lebur (b)

### 3.15 Pemodelan Dalam Bentuk 2D dan 3D

Memodelkan hasil produk *cylinder head* ke dalam bentuk dua dan tiga dimensi menggunakan *software* Solidwork. Pemodelan ini dilakukan sebagai masukan untuk *software* *Flow-3D Casting*.

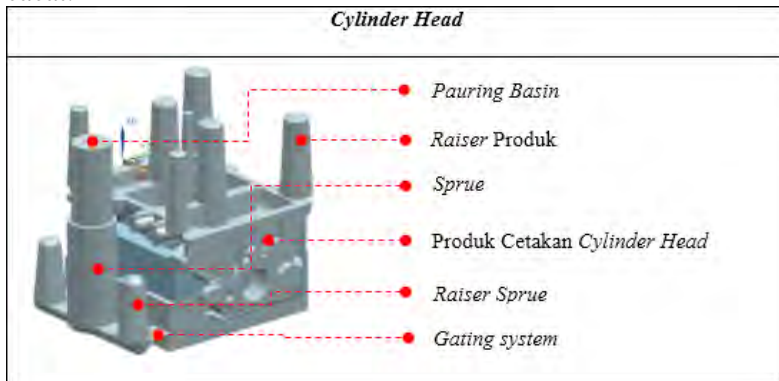
Berikut ini bentuk dan dimensi benda coran yang akan dimodelkan. Gambar sudah termasuk toleransi *machining* sebesar 5 mm.



cacat penyusutan (*shrinkage*) pada benda coran. Dari hasil simulasi akan didapatkan proses solidifikasi, letak *shrinkage* yang terjadi, persentase *shrinkage* dan temperatur pendinginan setiap detik.

### 3.17 Sistem Saluran Masuk (*Gating System*)

Sistem saluran yang dipakai dalam penelitian ini adalah menggunakan 1 saluran, 2 saluran, dan 3 saluran bawah dengan metode *horizontal gating system* dengan 1 riser pada system 1 saluran berada di depan sprue, 2 riser pada sistim 2 saluran dan 3 saluran yang berada di kiri dan kana sprue serta 4 riser pada benda cor. Dengan adanya ketiga system saluran tersebut manakah hasil pengecoran *cylinder head* yang sedikit terjadinya cacat.



**Gambar 3.25** Bagian-bagian cetakan *Cylinder Head*



Jenis	Rancangan Saluran ( <i>Gating System</i> ) (Gambar Tampak Belakang)	Rancangan Pengecoran
1 Saluran		
2 Saluran		
3 Saluran		

**Gambar 3.26** *Gating System Cylinder Head*

### 3.18 Pelaksanaan peleburan alumunium

Untuk menghemat waktu peleburan dan pengurangan akibat terjadinya proses oksidasi selama proses peleburan, maka logam dipotong menjadi potongan - potongan kecil yang kemudian dipanaskan pada dapur. Jika bahan sudah mulai mencair, Selama pencairan, permukaan harus ditutup dan cairan diaduk dalam jangka waktu tertentu untuk mencegah segregasi. Peleburan logam alumunium dilakukan di dapur yang dipanaskan hingga temperatur kira - kira 689° C

-700° C. Waktu yang diperlukan hingga logam aluminium mencair seluruhnya dengan kapasitas drum 50 kg sekitar  $\pm 3$  jam.

No	Gambar	Keterangan
1		Proses peleburan aluminium pada drum burner dengan menggunakan bahan material velg mobil bekas. Agar menghasilkan panas yang cepat maka menggunakan blower.
2		Temperature peleburan aluminium ADC 12 dengan menggunakan thermocouple yaitu 689 °C
3		Buang kotoran <i>flux</i> yang menempel pada permukaan cairan pada aluminium.

4		Susun <i>frame Cup</i> dan <i>Drag</i> cetakan yang terbuat dari pasir silica dengan cara pengerasan CO <sub>2</sub>
5		Pasang pemberat pada permukaan <i>cup</i> dengan tujuan pada saat cairan dituangkan ke dalam cetakan untuk mengimbangi cetakan tidak hancur pada saat cairan panas dituangkan.
6		Proses penuangan material aluminium ADC 12 dengan temperature tuang 689 °C pada cetakan <i>cylinder head</i> secara gravitasi.
7		Setelah dilakukan pengecoran, maka lakukan pendinginan udara sekitar pada suhu temperature ruang 27 °C dan tunggu pendinginan ± 7 sampai 8 jam.
8		Lakukan pembongkaran pasir cetak pada <i>Cup</i> dan <i>Drug</i> , kemudian bongkar inti/kern yang masih menempel pada bagian cetakan <i>cylinder head</i> .

**Gambar 3.27** Tahap peleburan aluminium ADC 12

### 3.19 Hasil Pengecoran Produk *Cylinder Head*

No	Gambar	Keterangan
1		Hasil pengecoran setelah <i>frame cup</i> dan <i>frame drag</i> di bongkar.
2		<i>Sprue</i> dan <i>riser</i> sudah dipotong.
3		Proses selanjutnya, setelah <i>sprue</i> dan <i>riser</i> di potong maka tahap pembersihan cetakan dengan cara dimasukkan kedalam mesin <i>shootblasting</i> dengan tujuan untuk menghilangkan bagian-bagian yang kasar pada permukaan luar dan dalam produk.
4		Tahap selanjutnya adalah proses permesinan dilakukan di PT.Djokro Bersaudara yang telah bekerja sama dengan ITS.
5		Setelah di machining maka <i>cylinder head</i> dipasang pada <i>cylinder blok</i> .

**Gambar 3.28** Hasil pengecoran *cylinder head*

### 3.20 Langkah-langkah penelitian

Percobaan pengecoran dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut

1. Tahap persiapan  
Pekerjaan yang merencanakan seluruh kegiatan baik perencanaan teknik (perancangan konstruksi benda coran, pemilihan metoda pengecoran, perancangan sistem saluran) maupun perencanaan waktu.
2. Pembuatan pola  
Pola *epoxy* yang digunakan untuk membuat cetakan memiliki beberapa kelengkapan teknik pengecoran seperti kemiringan pola dan kelebihan ukuran untuk tambahan penyusutan dan permesinan.
3. Pembuatan Inti/Kern  
Pembuatan inti/core menggunakan cetakan *mould dies* dengan cara kotak panas yang di bakar pada suhu 200 °C – 250 °C.
4. Pembuatan cetakan  
Cetakan yang digunakan sebanyak 5 buah *dies* untuk membuat 4 lapisan inti/core dan sebagian part menggunakan cetakan epoxy.
5. Peleburan  
Proses peleburan atau pencairan logam ADC12 tungku peleburan sederhana pada drum kapasitas 50 kg dengan peleburan pada temperatur  $\pm 689^{\circ}\text{C}$ .
6. Penuangan  
Proses penuangan menggunakan ladle dengan cara grafitasi dan sebagai penuang untuk membawa logam cair dari tanur ke cetakan dan menuangkannya dengan aman.
7. Pembekuan  
Setelah logam cair dituang terjadi proses pembekuan dan selama proses ini berlangsung terjadi peristiwa perpindahan panas.

8. Pembongkaran

Setelah proses penuangan selesai dan logam mengalami pembekuan dalam waktu yang cukup didalam cetakan, selanjutnya cetakan tersebut dibongkar untuk memisahkan benda coran dari cetakannya.

9. Pemotongan sistem saluran.

Pada penelitian ini tidak dilakukan pemotongan sistem saluran agar memudahkan membandingkan dan menganalisa hasil eksperimen.

10. Inspeksi

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan ada tidaknya cacat dan pengukuran pada benda hasil coran yang dapat disajikan pada tabel berikut:

### **3.21 Pengamatan Cacat Pada Cylinder Head**

Pada proses ini pengamatan cacat dilakukan secara visual. Cacat produk kepala silinder (cylinder head) ini dibagi menjadi dua kategori yaitu cacat *In Progress* dan *Next Progress*.

Cacat *in process* merupakan jenis cacat produksi pada saat proses didalam *gravity casting* .Jenis cacat untuk kategori ini biasanya berupa cacat produk yang terlihat visual mata maupun hasil pemeriksaan data ukur produk.

Sedangkan cacat *next process* merupakan cacat produksi *gravity casting* yang diketemukan setelah produk dikirim dan diproses permesinan, baik pada permukaan part maupun bagian dalam produk.




No	Gambar	Jenis Cacat	Kategori
1		Retakan Penyusutan	Next Process (Machining)
2		Retakan Penyusutan	Next Process (Machining)

**Gambar 3.29** Pengamatan cacat cylinder head secara visual

### 3.22 Analisa Hasil dan Pembahasan

Data hasil simulasi yang berupa dari perhitungan perancangan, baik berupa data gambar, grafik, atau tabel dilakukan analisa serta dilakukan perbandingan pada data hasil tersebut untuk dapat diambil kesimpulan dari penelitian.

**Tabel 3.2** Hasil simulasi perbandingan jenis system saluran yang paling efisien dalam mengurangi cacat pada produk cor

Jenis	Perancangan Sistem Saluran	Pengecoran Secara Simulasi	Presentase Cacat Shrinkage (%)
1 Saluran			
2 Saluran			
3 Saluran			

### 3.22 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis simulasi serta saran – saran untuk perbaikan dan penelitian lebih lanjut.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### DATA AWAL PENGECORAN DAN PERANCANGAN SISTEM SALURAN *CYLINDER HEAD*

Pada bab ini akan ditunjukkan data awal pengecoran *cylinder head* yang mencakup dimensi system saluran dan *gating sistem* serta cacat pengecoran *cylinder head* yang dilakukan selama pengamatan di Industri pengecoran PT.ICCI.

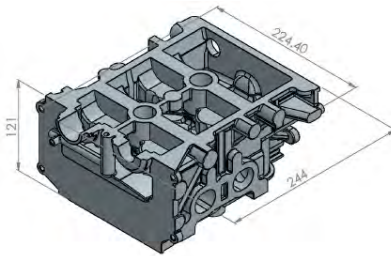
#### 4.1 Data Awal Benda Pengecoran *Cylinder Head*

Data yang diambil adalah data-data yang berpotensi memberikan pengaruh pada permasalahan dan data – data yang lain untuk mendukung analisa permasalahan. Adapun data yang diambil meliputi dimensi benda cor, material benda cor, material cetakan , temperature penuangan, serta cacat yang terjadi pada benda cor tersebut. Data awal yang dibutuhkan meliputi :

##### 1. Dimensi Benda Coran

Benda coran yang akan segera dicor adalah *Cylinder Head* memiliki dimensi :

Panjang : 244 mm  
Lebar : 224.40 mm  
Tinggi : 121 mm



**Gambar 4.1** Model Cylinder Head 650 cc

##### 2. Material Benda Coran

Material benda coran yang digunakan adalah Aluminium ADC 12 atau standard JIS H 5302:2000. Memiliki berat jenis ( $\rho$ ) 2,82gr/cm<sup>3</sup> atau 0,102 lb/in<sup>3</sup> dan temperatur melting sekitar 650°C

### 3. Material Pasir Cetak

Pasir cetak yang digunakan pada penelitian ini adalah Cetakan Mengeras Sendiri Dengan Pengikat Organik. Apabila pengikat khusus dibubuhkan pada pasir cetak maka cetakan yang dibuat dari campuran ini mengeras secara alamiah tanpa membutuhkan peniupan dengan  $\text{CO}_2$ .

### 4.2 Perencanaan Sistem Saluran

Salah satu langkah dalam proses pengecoran adalah membuat sistem saluran, dimana sistem saluran berpengaruh pada hasil coran. Adapun data yang dipakai untuk bahan pembuatan *cylinder head* ADC 12 adalah :

Material :

- Jenis material logam = ADC 12
- Berat Jenis ( $\rho$ ) =  $2.82 \text{ gr/cm}^3$   
=  $0.102 \text{ lb/in}^3$
- T melt (ADC 12) =  $516\text{--}582^\circ \text{C}$
- Tensile strenght =  $330 \text{ N/mm}^2$
- Yield strenght =  $165 \text{ N/mm}^2$
- Hardness = 85 HB

Perhitungan berat (w) dan volume (v) cylinder head :

- Berat *Cylinder Head* = 12000 gram = 12 Kg



Berat total coran 1 sistem saluran  
(w) = 12 Kg = 12000 gr + 3 Kg  
= 15000 gr  
= **33.06 lb**

**Gambar 4.2** Timbangan digital untuk menghitung berat *Cylinder Head*

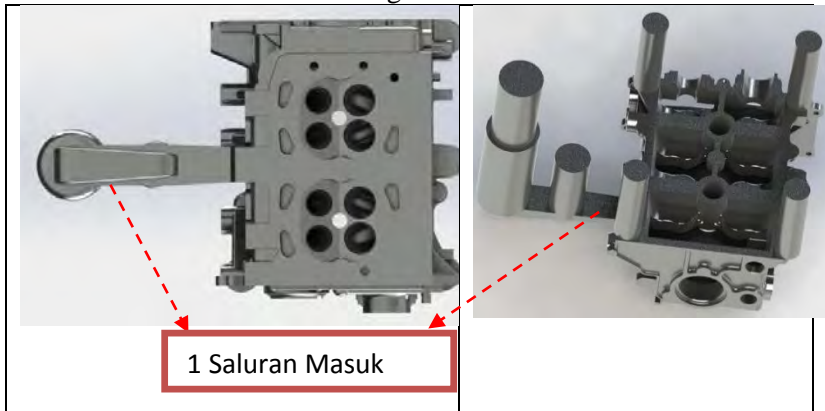
Dimana : 3 Kg merupakan berat dari hasil pengecoran system satu saluran.

- Volume cylinder head ADC 12

$$= \frac{15000 \text{ gr}}{2.82 \text{ gr/cm}^3} = 5319.15 \text{ cm}^3$$

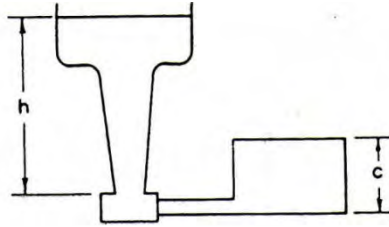
#### 4.2.1 Perhitungan Satu Saluran Masuk

Untuk perhitungan sistem saluran menurut AFS dengan satu saluran masuk adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.3** Rancangan Pengecoran *Cylinder Head* Satu Sistem Saluran Masuk

1. Waktu tuang  
Material benda coran adalah aluminium (*non-ferrous*).  
Dengan konstanta  $f = 2,6$  maka :  
$$t = f \times \sqrt{w}$$
$$= 2,6 \times \sqrt{33.1}$$
$$= 15 \text{ detik}$$
2. *Choke Area* ( $A_B$ )  
Dimana pada perhitungan choke area ini menggunakan sistem effective sprue height *bottom gating* :



**Gambar 4.4** Bottom Gating Sistem 1 saluran

Diketahui :  $d = \rho = 2.82 \text{ gr/cm}^3$

$c = 121 \text{ mm} = 12.1 \text{ cm}$

$g = 981 \text{ cm/s}^2$

$h = 225 \text{ mm} = 22.5 \text{ cm}$  (panjang saluran turun)

$$\begin{aligned} H &= h - \frac{c}{2} \\ &= 225\text{mm} - \frac{121\text{mm}}{2} \\ &= 165\text{mm} = 16.5\text{cm} \end{aligned}$$

Dimana :

$A_B$  = Luasan penyempitan ( $\text{mm}^2$ )

$w$  = Berat coran (gr)

$\rho$  = Densitas logam cair ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )

$t$  = Waktu penuangan (detik)

$H$  = Ketinggian efektif saluran turun (cm)

$g$  = Percepatan gravitasi ( $981 \text{ cm/det}^2$ )

$c$  = Faktor efisiensi dari saluran turun menggunakan round straight sprue (0,47)

$$A_B = \frac{w}{d \cdot t \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$\begin{aligned} A_B &= \frac{15000 \text{ gr}}{2,82 \text{ gr} / \text{cm}^3 \times 15 \text{ det} \times 0,47 \sqrt{2 \times 981 \text{ cm} / \text{det}^2 \times 16.5 \text{ cm}}} \\ &= 4.19 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi diameter bawah saluran turun adalah :

$$A_B = 4.19 \text{ cm}^2$$

$$\frac{1}{4}\pi d^2 = 4.19 \text{ cm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4.19 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$= 2.3 \text{ cm} = 23 \text{ mm}$$

3. *Area of the Top of Sprue ( $A_T$ )*

Dengan  $h$  = Panjang saluran turun (cm) = 22.5 cm

$b$  = Kedalaman pouring basin (cm) = 2 cm

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{H}{b}}$$

Dengan  $H = 22.5 \text{ cm}$  ,  $b = 2 \text{ cm}$

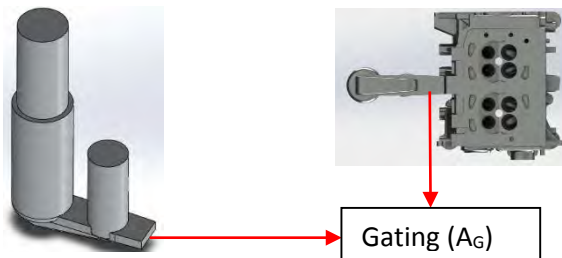
$$A_T = 4.19 \text{ cm}^2 \sqrt{\frac{22.5 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}}$$

$$A_T = 14.05 \text{ cm}^2$$

4. *Runner Area ( $A_R$ )*

*Runner Area* dapat ditentukan dari *Gating Ratio*. Sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu 1 :

4 : 4



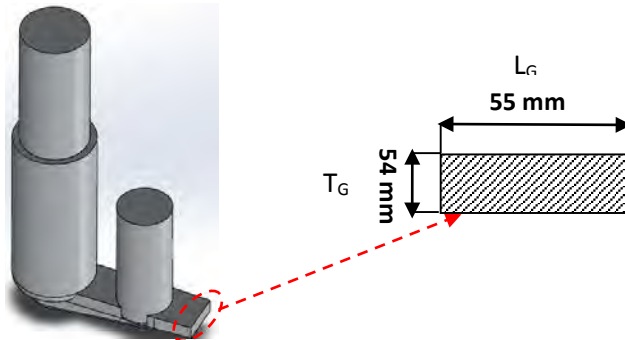
**Gambar 4.5** *Ingate Area 1 Saluran*

$$\begin{aligned} \text{Runner Area} &= 4 \times A_B \\ &= 4 \times 419 \text{ mm}^2 \\ &= 1676 \text{ mm}^2 \times 1,5 = 3016.8 \text{ mm}^2 \\ &\quad (L_R = 55 \text{ mm}, T_R = 54 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Dimensi panjang *runner* disesuaikan dengan bentuk benda kerja serta ditambah *runner extension*. Karena material benda cor yang digunakan adalah aluminium yang tergolong *non-ferrous*, maka *runner* yang digunakan adalah lebar namun dangkal.

Kedalaman *Runner* = 54 mm

Lebar *Runner* = 55 mm



**Gambar 4.6** Dimensi *Gating Area*

Panjang *runner* yang digunakan adalah 74 mm disesuaikan dengan bentuk benda kerja.

$$\text{Luas } A_B = 4.19 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Well Area} &= 5 \times A_B \\ &= 5 \times 4.19 \text{ cm}^2 \\ &= 20.95 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

5 *Diameter Well Base*

$$\text{Well Area} = 20.95 \text{ cm}^2$$

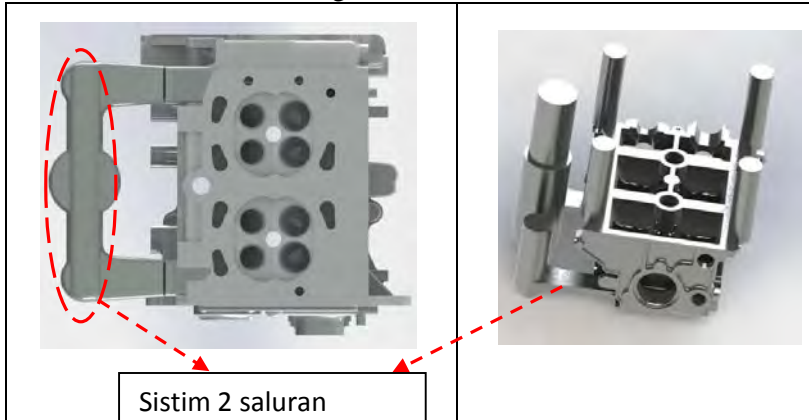
$$\frac{1}{4}\pi d^2 = 20.95 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{20.95 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi}} \\ &= 5.1 \text{ cm} = 55 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6 \text{ Well base depth} &= 2 \times \text{Runner depth} \\ &= 2 \times 54 \text{ mm} \\ &= 108 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Perhitungan Dua Saluran Masuk

Untuk perhitungan sistem saluran menurut AFS dengan dua saluran masuk adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.7** Rancangan Pengecoran *Cylinder Head* Satu Sistem Saluran Masuk

Perhitungan berat ( $w$ ) dan volume ( $v$ ) cylinder head :

- Berat *Cylinder Head* = 12000 grams = 12 Kg



Berat total coran 1 sistem saluran  
( $w$ ) = 12 Kg = 12000 gr + 3,25 Kg  
= 15250 gr  
= **33.7 lb**

**Gambar 4.8** Timbangan Digital Untuk Menghitung Berat *Cylinder Head*

Dimana : 3.25 Kg merupakan berat dari hasil pengecoran system dua saluran.

- Volume cylinder head ADC 12

$$= \frac{15250 \text{ gr}}{2.82 \text{ gr/cm}^3} = 5407.80 \text{ cm}^3$$



1 Waktu tuang

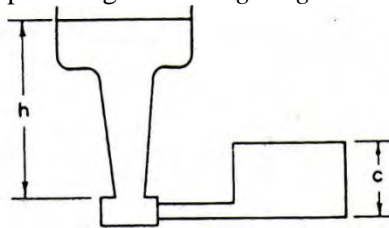
Material benda coran adalah aluminium (*non-ferrous*).

Dengan konstanta  $f = 2,6$  maka :

$$\begin{aligned} t &= f \times \sqrt{w} \\ &= 2,6 \times \sqrt{33.7} \\ &= 15.09 \text{ detik} \approx 15.1 \text{ detik} \end{aligned}$$

2 Choke Area ( $A_B$ )

Dimana pada perhitungan choke area ini menggunakan sistem effective sprue height *bottom gating* :



**Gambar 4.9** *Bottom Gating Sistem 2 saluran*

Diketahui :  $d = \rho = 2.82 \text{ gr/cm}^3$

$$c = 121 \text{ mm} = 12.1 \text{ cm}$$

$$g = 981 \text{ cm/s}^2$$

$h = 225 \text{ mm} = 22.5 \text{ cm}$  (panjang saluran turun)

$$\begin{aligned} H &= h - \frac{c}{2} \\ &= 225\text{mm} - \frac{121\text{mm}}{2} \\ &= 165\text{mm} = 16.5\text{cm} \end{aligned}$$

Dimana :

$A_B$  = Luasan penyempitan ( $\text{mm}^2$ )

$w$  = Berat coran (gr)

$\rho$  = Densitas logam cair ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )

$t$  = Waktu penuangan (detik)

$H$  = Ketinggian efektif saluran turun (cm)

- g = Percepatan gravitasi (981 cm/det<sup>2</sup>)  
 c = Faktor efisiensi dari saluran turun menggunakan round straight sprue (0,47)

$$A_B = \frac{w}{d.t.c.\sqrt{2.g.H}}$$

$$A_B = \frac{15250 \text{ gr}}{2,82 \text{ gr/cm}^3 \times 15.1 \text{ det} \times 0,47 \sqrt{2 \times 981 \text{ cm/det}^2 \times 16.5 \text{ cm}}}$$

$$= 4.25 \text{ cm}^2$$

Jadi diameter bawah saluran turun adalah :

$$A_B = 4.25 \text{ cm}^2$$

$$\frac{1}{4}\pi d^2 = 4.25 \text{ cm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4.25 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$= 2.32 \text{ cm} = 23.2 \text{ mm}$$

### 3 Area of the Top of Sprue (A<sub>T</sub>)

Dengan h = Panjang saluran turun (cm) = 22.5 cm

b = Kedalaman pouring basin (cm) = 2 cm

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{H}{b}}$$

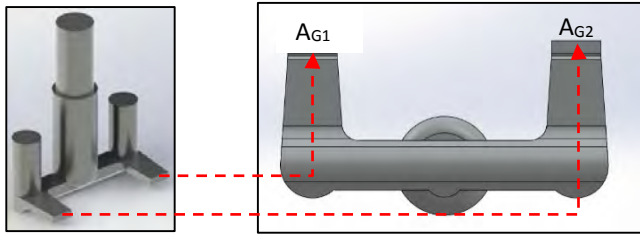
Dengan H = 22.5 cm , b = 2 cm

$$A_T = 4.25 \text{ cm}^2 \sqrt{\frac{22.5 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}}$$

$$A_T = 14.25 \text{ cm}^2$$

### 4 Runner Area (A<sub>R</sub>)

Runner Area dapat ditentukan dari *Gating Ratio*. Sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu 1 : 4 : 4



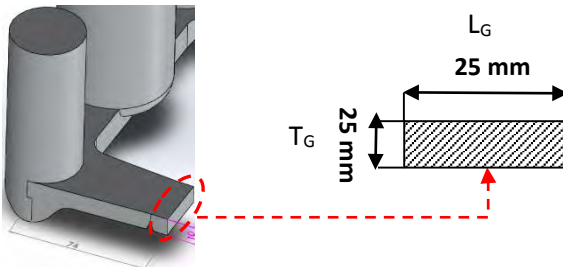
**Gambar 4.10** *Ingate Area 2 Saluran*

$$\begin{aligned}
 \text{Runner Area} &= 4 \times A_B \\
 &= 4 \times 425 \text{ mm}^2 \\
 &= 1700 \text{ mm}^2 \times 1,5 = 2550 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (L_R = 30 \text{ cm}, T_R = 10.06 \text{ mm}) \\
 R_1 = R_2 = \text{Runner area} : 2 &= 1275 \text{ mm}^2 : 2 = 637.5 \text{ mm}^2 \\
 (T_{R1} = T_{R2} = 25.24 \text{ mm}, L_{R1} = L_{R2} = 25.25 \text{ mm})
 \end{aligned}$$

Dimensi panjang *runner* disesuaikan dengan bentuk benda kerja serta ditambah *runner extension*. Karena material benda cor yang digunakan adalah aluminium yang tergolong *non-ferrous*, maka *runner* yang digunakan adalah lebar namun dangkal.

Kedalaman Runner = 25 mm

Lebar Runner = 25 mm



**Gambar 4.11** *Dimensi Runner*

Panjang *runner* yang digunakan adalah 74 mm disesuaikan dengan perancangan sistem saluran..

$$\begin{aligned}
 \text{Luas } A_B &= 4.25 \text{ cm}^2 \\
 \text{Well Area} &= 5 \times A_B \\
 &= 5 \times 4.25 \text{ cm}^2 \\
 &= 21.25 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

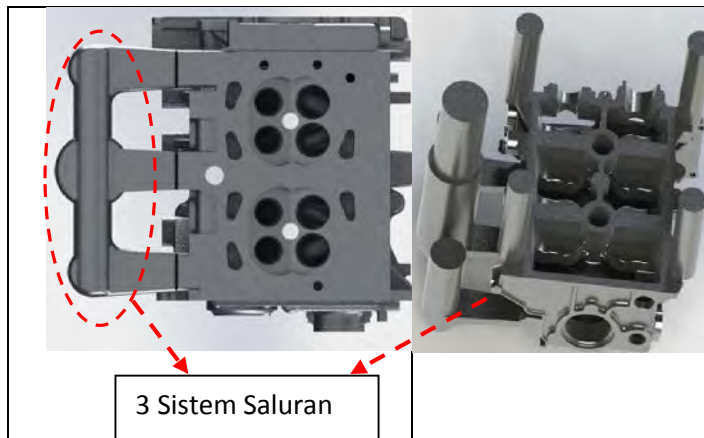
5 Diameter Well Base

$$\begin{aligned}
 \text{Well Area} &= 21.25 \text{ cm}^2 \\
 \frac{1}{4} \pi d^2 &= 21.25 \text{ cm}^2 \\
 d &= \sqrt{\frac{21.25 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi}} \\
 &= 27.07 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6 \quad \text{Well base depth} &= 2 \times \text{Runner depth} \\
 &= 2 \times 10.1 \text{ mm} \\
 &= 20.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.3 Perhitungan Tiga Saluran Masuk

Untuk perhitungan sistem saluran menurut AFS dengan satu saluran masuk adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.12** Bentuk tiga sistim saluran masuk

Perhitungan berat (w) dan volume (v) cylinder head :

- Berat *Cylinder Head* = 12000 grams = 12 Kg



Berat total coran 1 sistem saluran  
 $(w) = 12 \text{ Kg} = 12000 \text{ gr} + 3,5 \text{ Kg}$   
 $= 15500 \text{ gr}$   
 $= \mathbf{34.2 \text{ lb}}$

**Gambar 4.13** Timbangan Digital Untuk Menghitung Berat *Cylinder Head*

Dimana : 3.5 Kg merupakan berat dari hasil pengecoran system tiga saluran.

- *Volume cylinder head* ADC 12

$$= \frac{15500 \text{ gr}}{2.82 \text{ gr/cm}^3} = 5496.45 \text{ cm}^3$$

1 Waktu tuang

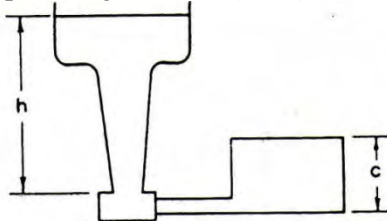
Material benda coran adalah aluminium (*non-ferrous*).

Dengan konstanta  $f = 2,6$  maka :

$$\begin{aligned} t &= f \times \sqrt{w} \\ &= 2,6 \times \sqrt{34.2} \\ &= 15.2 \text{ detik} \end{aligned}$$

2 *Choke Area* ( $A_B$ )

Dimana pada perhitungan choke area ini menggunakan sistem effective sprue height *bottom gating* :



**Gambar 4.14** *Bottom Gating Sistem 2 saluran*

Diketahui :  $d = \rho = 2.82 \text{ gr/cm}^3$   
 $c = 121 \text{ mm} = 12.1 \text{ cm}$   
 $g = 981 \text{ cm/s}^2$   
 $h = 225 \text{ mm} = 22.5 \text{ cm}$  (panjang saluran turun)

$$\begin{aligned} H &= h - \frac{c}{2} \\ &= 225 \text{ mm} - \frac{121 \text{ mm}}{2} \\ &= 165 \text{ mm} = 16.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dimana :

$A_B$  = Luasan penyempitan ( $\text{mm}^2$ )  
 $w$  = Berat coran (gr)  
 $\rho$  = Densitas logam cair ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )  
 $t$  = Waktu penuangan (detik)  
 $H$  = Ketinggian efektif saluran turun (cm)  
 $g$  = Percepatan gravitasi ( $981 \text{ cm/det}^2$ )  
 $c$  = Faktor efisiensi dari saluran turun menggunakan round straight sprue (0,47)

$$A_B = \frac{w}{d \cdot t \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$\begin{aligned} A_B &= \frac{15500 \text{ gr}}{2,82 \text{ gr} / \text{cm}^3 \times 15.2 \text{ det} \times 0,47 \sqrt{2 \times 981 \text{ cm} / \text{det}^2 \times 16.5 \text{ cm}}} \\ &= 4.28 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jadi diameter bawah saluran turun adalah :

$$A_B = 4.28 \text{ cm}^2$$

$$\frac{1}{4} \pi d^2 = 4.28 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{4.28 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi}} \\ &= 2.33 \text{ cm} = 23.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

3 *Area of the Top of Sprue ( $A_T$ )*

Dengan  $h$  = Panjang saluran turun (cm) = 22.5 cm

$b$  = Kedalaman pouring basin (cm) = 2 cm

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{H}{b}}$$

Dengan  $H = 22.5$  cm ,  $b = 2$  cm

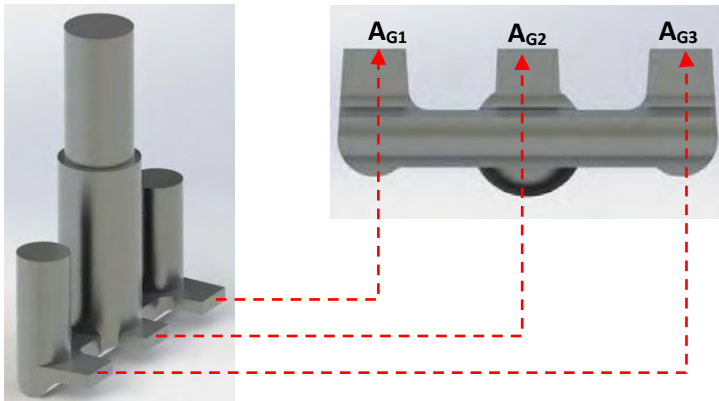
$$A_T = 4.28 \text{ cm}^2 \sqrt{\frac{22.5 \text{ cm}}{2 \text{ cm}}}$$

$$A_T = 14.35 \text{ cm}^2$$

4 *Runner Area ( $A_R$ )*

*Runner Area* dapat ditentukan dari *Gating Ratio*. Sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu

1 : 4 : 4



**Gambar 4.15** *Runner Area* Sistem 2 Saluran

$$\begin{aligned} \text{Runner Area} &= 4 \times A_B \\ &= 4 \times 428 \text{ mm}^2 \\ &= 1712 \text{ mm}^2 \times 1,5 = 2568 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$(L_R = 50.5 \text{ mm}, T_R = 50.6 \text{ mm})$$

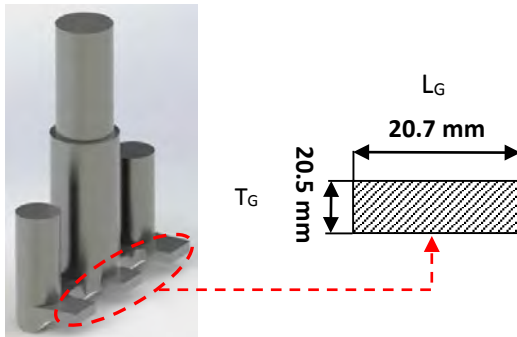
$$R_1 = R_2 = \text{Runner area} : 2 = 1275 \text{ mm}^2 : 3 = 425 \text{ mm}^2$$

$$(T_{R1} = T_{R2} = 20.5 \text{ mm}, L_{R1} = L_{R2} = 20.7 \text{ mm})$$

Dimensi panjang *runner* disesuaikan dengan bentuk benda kerja serta ditambah *runner extension*. Karena material benda cor yang digunakan adalah aluminium yang tergolong *non-ferrous*, maka *runner* yang digunakan adalah lebar namun dangkal.

Kedalaman Runner = 20.5 mm

Lebar Runner = 20.7 mm



**Gambar 4.16** Dimensi *Gating Area*

Panjang *runner* yang digunakan adalah 74 mm disesuaikan dengan perancangan sistem saluran..

$$\text{Luas } A_B = 4.28 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Well Area} &= 5 \times A_B \\ &= 5 \times 4.28 \text{ cm}^2 \\ &= 21.40 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

5 Diameter Well Base

$$\text{Well Area} = 21.40 \text{ cm}^2$$

$$\frac{1}{4} \pi d^2 = 21.40 \text{ cm}^2$$



$$d = \sqrt{\frac{21.40 \text{ cm}^2 \times 4}{\pi}}$$

$$= 5.22 \text{ cm} = 52.2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Well base depth} &= 2 \times \text{Runner depth} \\ &= 2 \times 20.5 \text{ mm} \\ &= 41 \text{ mm}\end{aligned}$$

### 4.3 Perencanaan riser

Dalam penelitian ini digunakan 2 macam penambah yaitu penambah biasa (*natural feeder/ riser*) dan *exothermic riser* dengan tujuan membandingkan performa penggunaan riser biasa dengan *exothermic riser* dan mencari volume yang efisien untuk pengecoran aluminium. Ada beberapa dasar teori perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan volume riser yang menunjang penelitian.

#### 4.3.1 Perencanaan riser biasa dengan pendekatan teori Foseco Non – Ferrous Foundryman's Handbook

1. Menentukan nilai modulus (C%)

C% = 14% untuk *natural feeder*.

- 2 Menentukan nilai *shrinkage* pada paduan yang akan dicor (S%).

S% = 4,7% merujuk pada gambar menggunakan material Aluminium dengan komposisi.

- 3 Memperkirakan berat logam cair yang ada di dalam riser ( $W_F$ ).

Pada perhitungan sistem saluran didapatkan berat benda yang akan dicor

( $W_C$ ) adalah  $W_C = (15000+15250+15500)/3 \text{ gr.} = 15250 \text{ gr}$

Maka, dengan perhitungan akan didapatkan berat logam cair yang ada di dalam riser ( $W_F$ ).

$$W_F = W_C \times \frac{100}{C\%} \times \frac{S\%}{100}$$

Dimana :  $W_F$  = Berat riser (lb)

$W_C$  = Berat benda coran (lb) = 15.250gr

C% = 14% dengan menggunakan *natural feed riser*

S% = Shrinkage yang terjadi pada logam cair (4,7%)

Sehingga,

$$\begin{aligned}W_F &= 15250 \times \frac{100}{14\%} \times \frac{4,7\%}{100} \\&= 15250 \times 0,3357 \\&= 5119.425 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$V_R = \frac{W_F}{\rho}$$

Dimana :  $V_R$  = Volume riser ( $\text{cm}^3$ )

$W_F$  = Berat riser (lb) = 5119.425 gr

$\rho$  =  $\rho_{\text{aluminium ADC 12}}$  = 2,82 gr/ $\text{cm}^3$

Sehingga,

$$\begin{aligned}V_R &= \frac{W_F}{\rho} \\&= \frac{5119.425 \text{ gr}}{2,82 \text{ gr/cm}^3} \\&= 1815.39 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$V_R = 1815.39 \text{ cm}^3$$

$$\frac{1}{4}\pi d^2 T = 1815.39 \text{ cm}^3$$

Dimana :  $T$  = Tinggi riser riser (cm) = 8 cm

$$\begin{aligned}d &= \sqrt{\frac{1815.39 \text{ cm}^3 \times 4}{\pi \times 8}} \\&= 17 \text{ cm} \\&= 170 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dimensi Penambah

d = 170 mm

T = 80 mm

#### **4.3.2 Perencanaan riser biasa dengan pendekatan teori teknik pengecoran logam Tata Surdia**

- 1 Untuk riser biasa penambah samping dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :  
$$\begin{aligned}\text{Øriser} &= 3,5 \times t \text{ (dengan } t \text{ adalah tebal benda coran dari samping yaitu 75mm)} \\ &= 3,5 \times 121 \text{ mm} \\ &= 423.5 \text{ mm}\end{aligned}$$
- 2 Untuk riser biasa penambah atas dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut :  
$$\begin{aligned}\text{Øriser} &= 3,5 \times t \text{ (dengan } t \text{ adalah tebal benda coran dari atas yaitu 75mm)} \\ &= 3,5 \times 224.4 \text{ mm} \\ &= 785.4 \text{ mm}\end{aligned}$$

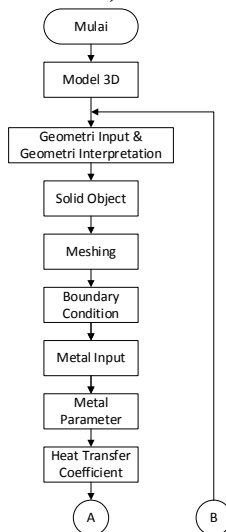
## BAB 5

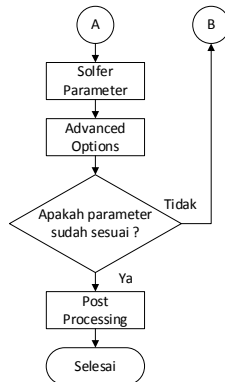
### TAHAP PELAKSANAAN SIMULASI SOFTWARE PENGECORAN *FLOW CAST-3D*

Pada bab ini akan ditunjukkan tahap-tahap simulasi *cylinder head* yang mencakup dimensi system satu saluran ,dua saluran dan tiga saluran masuk serta *cylinder head* yang dilakukan selama pengamatan di Industri pengecoran PT.ICCI dengan software *Flow-3D Cast*.

Simulasi dengan software dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui letak cacat posisi *shrinkage* yang terjadi pada system 1 saluran, 2 saluran dan 3 saluran. Simulasi pertama dilakukan pada benda cor dengan parameter yang konstan tanpa merubah dimensi riser.Simulasi selanjutnya merubah dimensi riser pada produk cor hingga didapatkan diameter riser yang sesuai untuk meminimalisir terjadinya cacat. Dari hasil simulasi akan didapatkan proses solidifikasi. Letak *shrinkage* dan temperature pendinginan setiap detik.

#### Diagram Alir (Flow Chart) Simulasi



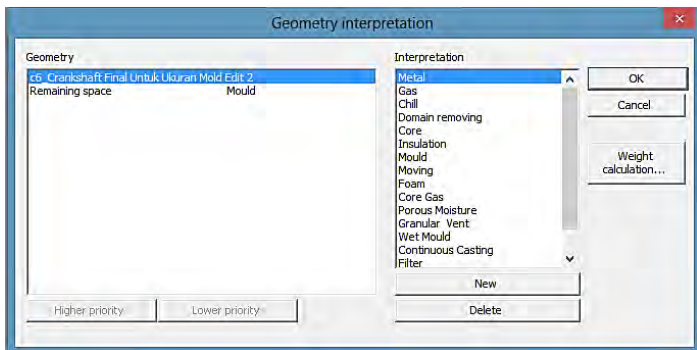


**Gambar 5.1** *Flowchart Simulasi*

## 5.1 Model 3D

Model 3D dibuat dengan menggunakan *software solidworks* atau Siemens NX8, kemudian disimpan dengan format STL.

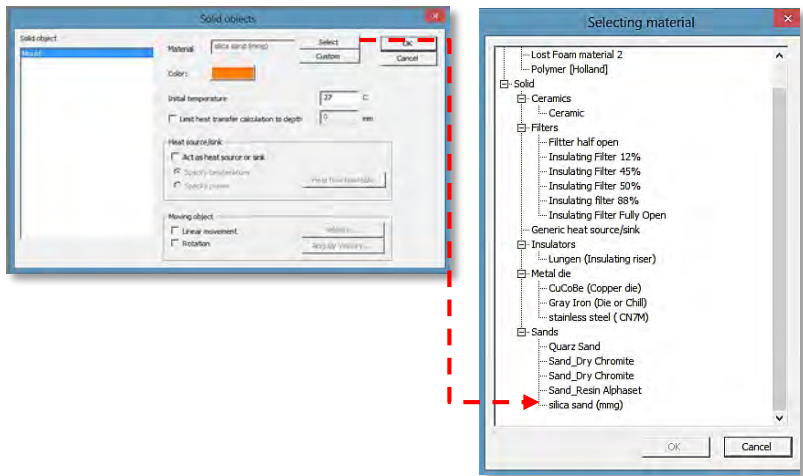
## 5.2 *Geometry Input & Geometry Interpretation* [10]



**Gambar 5.1** *Geometry Interpretation.*

*Geometry input* yakni penggunaan simulasi pada model 3D dengan format STL yang telah dibuat, dan *geometri interpretation* merupakan pengaturan properti atau jenis material pada model 3D yang telah dibuat, pengaturan yang digunakan yakni model 3D sebagai logam (*metal*) dan ruang sisa (*remaining space*) sebagai cetakan (*mould*).

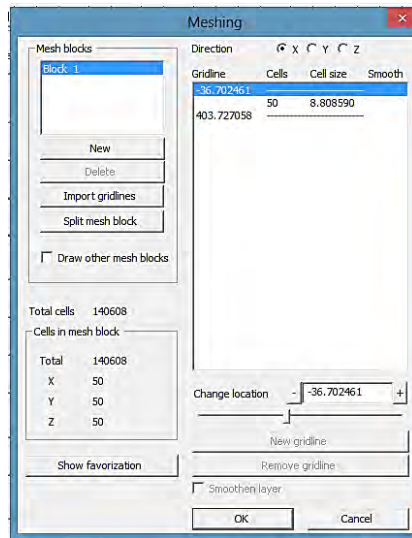
### 5.3 Solid Object [10]



**Gambar 5.2 Solid Object.**

*Solid Object* merupakan pengaturan material dan temperatur mula pada benda padat, jika jenis material yang diinginkan tidak ada pada pilihan maka dapat menggunakan menu *custom* untuk membuat *database* material baru. pengaturan yang digunakan yakni pasir silika sebagai material benda padat (pada *mould*) dan 27°C sebagai temperatur mula yang terjadi.

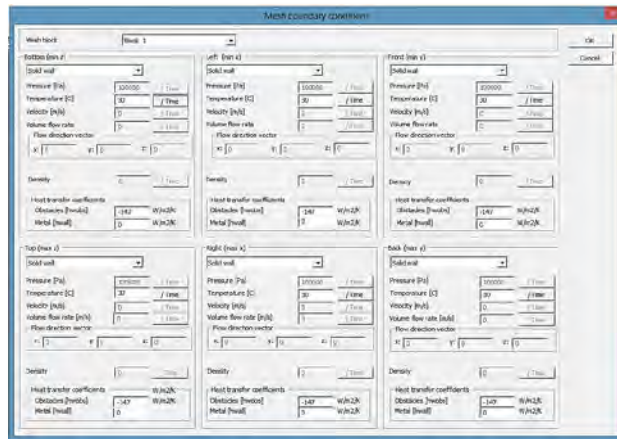
## 5.4 Meshing [10]



**Gambar 5.3** Pengaturan *Meshing*.

*Meshing* dilakukan agar kondisi batas dan parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan dalam volume-volume kecil, dan dilakukan dengan cara membagi model solid menjadi volume kecil sesuai dengan jumlah *cell* yang diinginkan. Pengaturan jumlah *cell* pada *meshing* yang digunakan sesuai dengan aturan mula yakni pada sumbu x, y, dan z masing-masing 50. Semakin besar jumlah *cell* maka hasil analisa yang didapat semakin akurat dan semakin besar pula data penyimpanan hasil simulasi.

## 5.5 Boundary Condition [10]



**Gambar 5.4 Boundary Condition.**

*Boundary Condition* merupakan penentuan parameter dan batasan yang terjadi dinding cetakan (*solid wall*). Data yang diperlukan pada *boundary Condition* tergantung pada tipe kondisi batas (*solid wall*, *symmetry plane*, *specific gas pressure*, dan lain-lain) sedangkan macam-macam parameter yang dimasukkan antara lain tekanan, temperatur, kecepatan, laju aliran volume, densitas dan koefisien perpindahan panas pada dinding cetakan masing-masing per waktu. Pengaturan yang digunakan yakni tipe kondisi batas *solid wall* pada masing-masing sumbu x, y, z minimal dan maksimal, untuk temperatur ruang menggunakan 27°C, dan untuk koefisien perpindahan panas pada *obstacle* menggunakan 96.2 W/m<sup>2</sup>/K.



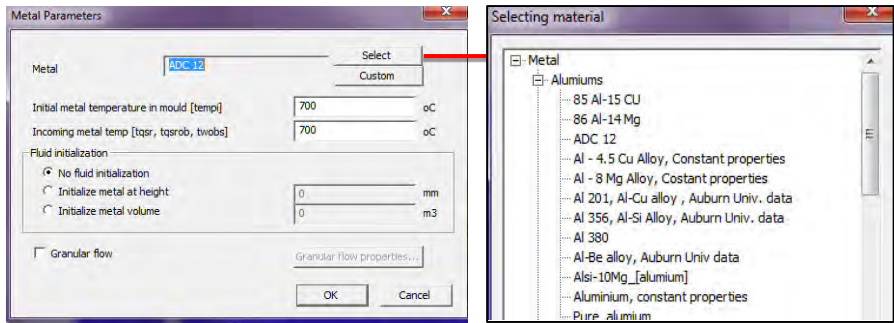
## 5.6 Metal Input [10]



**Gambar 5.5 Metal Input.**

*Metal Input* merupakan pengaturan dimensi, letak dan arah dimana logam cair mulai masuk kedalam cetakan. Letak penuangan diatur dengan mengubah angka pada sumbu x, y, dan z pada *metal source* hingga didapatkan lokasi yang sesuai untuk penuangan yakni ujung *sprue* bagian atas. Diameter meter penuangan disamakan dengan diameter ujung *sprue* atas, dan mengatur arah aliran sesuai dengan arah gaya gravitasi dengan mengubah angka pada sumbu x, y, z *metal flow direction*. Angka x, y, dan z tergantung dengan bentuk model atau letak ujung *sprue*.

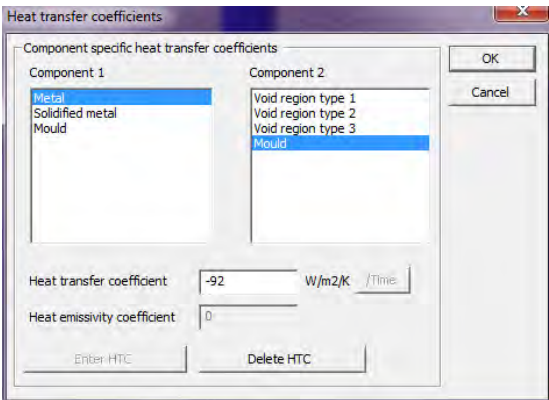
## 5.7 Metal Parameter [10]



**Gambar 5.6 Metal Parameter.**

*Metal Parameter* yakni pengaturan jenis material logam, temperatur mula penuangan, temperatur mula dalam cetakan, dan properti logam cair yang akan dilakukan pada simulasi pengecoran. Pengaturan yang digunakan yakni memilih material Aluminium ADC 12 atau membuat database material baru jika material yang diinginkan tidak ada dipilihan, dengan cara memilih menu *custom*. Selanjutnya mengatur temperatur mula saat logam cair sudah masuk cetakan dan mengatur temperatur logam cair yang akan masuk cetakan, sesuai dengan refrensi didapatkan masing-masing temperatur yakni 689°C. Untuk pengaturan properti logam cair sesuai asumsi tinggi penuangan (*initialize metal at height*) dianggap 0 mm dari ujung atas *sprue*, dan pada mulanya tidak ada logam didalam cetakan (*initialize metal volume* = 0 m<sup>3</sup>).

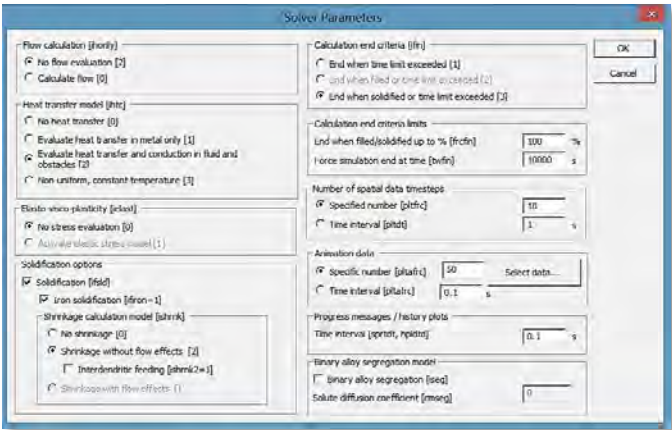
### 5.8 Heat Transfer Coefficient [10]



**Gambar 5.7 Heat Transfer Coefficient.**

*Heat Transfer Coefficient* yakni mengatur koefisien perpindahan panas yang terjadi antara logam dengan cetakan, pengaturan ini sama dengan yang ada pada *boundary condition*. Untuk pengaturan perpindahan panas antara logam dengan cetakan pasir silika yakni sebesar 92 W/m<sup>2</sup>/K.

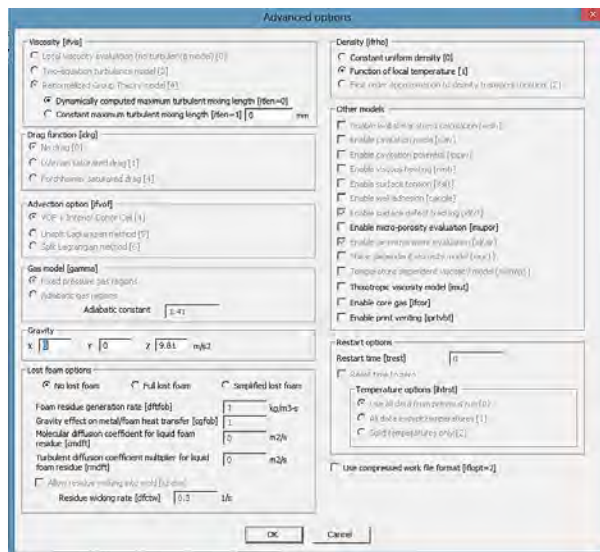
### 5.9 Solver Parameter



**Gambar 5.8 Solver Parameter.**

*Solver Parameter* digunakan untuk mencari data simulasi yang diinginkan pada *software*, pengaturan yang digunakan adalah solidifikasi besi yang menampilkan cacat penyusutan (*shrinkage*) pada benda cor tanpa memunculkan efek aliran. Sehingga pada hasil simulasi diharapkan cacat penyusutan dapat terlihat dan dianalisa.

### 5.10 Advanced Option [10]



**Gambar 5.9 Advanced Option.**

*Advanced Option* digunakan untuk mengatur besar gaya gravitasi pada sumbu yang terdapat sprue, agar aliran logam cair yang dituang pada simulasi dapat berjalan seperti pada pengecoran sesungguhnya. Yakni aliran logam cair yang mengarah kebawah sehingga dapat mengisi rongga cetak.




### 5.11 Post Processing [10]

*Post Processing* digunakan untuk menampilkan hasil serta analisa yang telah dilakukan pada simulasi. Hasil yang diharapkan yakni berupa lokasi serta persentase cacat penyusutan yang terjadi.

## 5.12 Variable Tetap Simulasi Sistem Saluran Kepala Silinder

Pada percobaan simulasi ini untuk mengetahui letak terjadinya cacat *shrinkage* dari ke tiga system saluran dan parameter yang digunakan pada simulasi ini baik dari dimensi sprue,gating,riser,temperature tuang,waktu tuang,suhu kamar dan material, maka variabel harus tetap pada waktu variabel dimasukkan selama proses simulasi. Tujuannya adalah dimana dari ke tiga system saluran tersebut mempunyai saluran yang baik dalam proses pengecoran dan sedikit terjadinya cacat shrinkage.

**Tabel 5.1** Parameter variable tetap pada tahap simulasi

No	Variabel Tetap	1 Saluran	2 Saluran	3 Saluran
1	Rancangan Saluran Cylinder Head			
2	Material	ADC 12	ADC 12	ADC 12
3	1x Riser Sprue	Ø40 x 85mm		
4	2x Riser Sprue		Ø40 x 85mm	Ø40 x 85mm
5	4x Riser Produk	Ø20 x 115mm	Ø20 x 115mm	Ø20 x 115mm
6	Panjang Gating (mm)	119 mm	119 mm	119 mm
7	Jenis Pasir	Silica Sand	Silica Sand	Silica Sand
8	Waktu Tuang	15 detik	15 detik	15 detik
9	Temperatur Tuang (°C)	689 °C	689 °C	689 °C
10	Suhu Kamar (°C)	27 °C	27 °C	27 °C
11	Thermal Conductivity (W/m °K)	96.2	96.2	96.2

**Gambar 5.10** Parameter variable tetap pada tahap simulasi

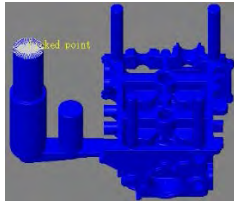
## BAB 6

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

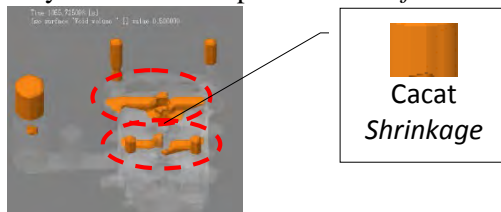
#### 6.1 Simulasi Sistem Saluran

##### 6.1.1 Simulasi Sistem 1 Saluran

Variabel pada sistem satu saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari *sprue* dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, *runner* dengan luasan 3016.8 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 55mm dan lebar 54 mm, satu riser pada sprue dengan diameter 40 mm dan tinggi 80 mm serta empat riser diatas produk cor dengan diameter 20 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah alumunium ADC 12 dengan properti mengacu pada software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistim satu saluran. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :

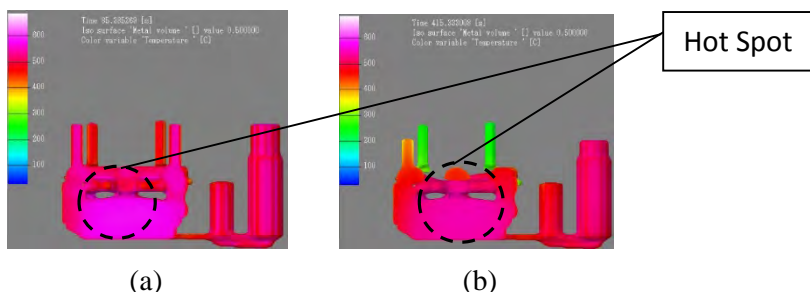


**Gambar 6.1** Model 3D system 1 saluran pada simulasi *flow cast*



**Gambar 6.2** Cacat *shrinkage* pada simulasi sistem satu saluran

Seperti pada gambar 6.2 dengan mengaplikasikan sistem satu saluran, didapatkan cacat shrinkage pada daerah produk cor (diindikasikan dengan warna *orange*), dengan presentase cacat total berdasarkan perhitungan dari hasil simulasi yakni sebesar 3.06 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan sehingga logam cair dapat mengisi, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :

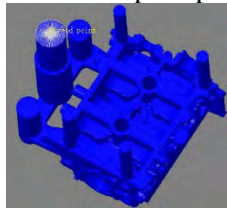


**Gambar 6.3** Temperatur pada kondisi logam pada fasa cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b)

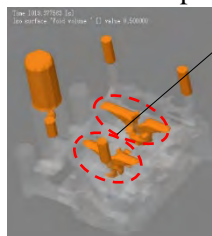
Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 86.88 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 580$  °C dan pada bagian luar  $\pm 510$  °C. Setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 415.88 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 560$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan dapat disimpulkan bahwa rancangan pada sistim 1 saluran masih kurang maksimal. Dan hasil data yang didapat dari perhitungan simulasi didapat presentase cacat yaitu cacat *shrinkage* 3.06 %.

### 6.1.2 Simulasi Sistem 2 Saluran

Variabel pada sistem satu saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari sprue dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, *runner* dengan luasan 637.5 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 25 mm dan lebar 25 mm, dua riser yang berada di sebelah kiri dan kanan sprue dengan diameter 40 mm dan tinggi 80 mm serta empat riser diatas produk cor dengan diameter 20 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah aluminium ADC 12 standard dengan properti mengacu pada software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistem satu saluran. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



**Gambar 6.4** Model 3D sistem 2 saluran pada simulasi *flow cast*

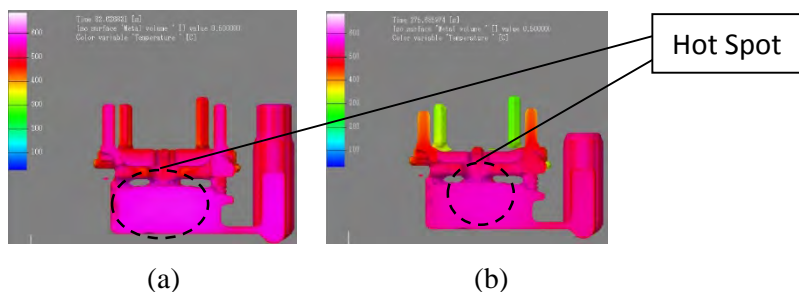


**Gambar 6.5** Cacat *shrinkage* pada sistem dua saluran

Dari gambar diatas menunjukkan yakni dengan menambahkan sistem satu saluran menjadi dua sistem saluran didapatkan masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total yakni sebesar 2,88 %, dibandingkan dengan sistem satu saluran lebih tinggi yakni 3.06 %. Secara teori, dan mengacu



penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :

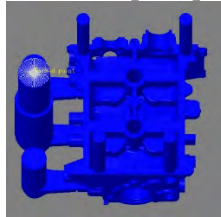


**Gambar 6.6** Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b).

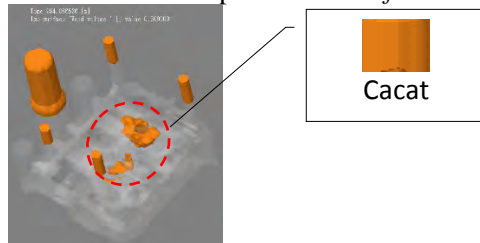
Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 82.62831 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 560$  °C dan pada bagian luar  $\pm 510$  °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 275.685 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 560$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan dapat disimpulkan bahwa rancangan pada sistim 2 saluran masih kurang maksimal. Dan hasil data yang didapat dari perhitungan simulasi, didapat presentase cacat *shrinkage* 2.88 %.

### 6.1.3 Simulasi Sistem 3 Saluran

Variabel pada sistem satu saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari sprue dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, *runner* dengan luasan 2568 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 20.7 mm dan lebar 20.5 mm, dua riser yang berada di sebelah kiri dan kanan sprue dengan diameter 40 mm dan tinggi 80 mm serta empat riser diatas produk cor dengan diameter 20 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah alumunium ADC 12 standard dengan properti mengacu pada software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistim satu saluran. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



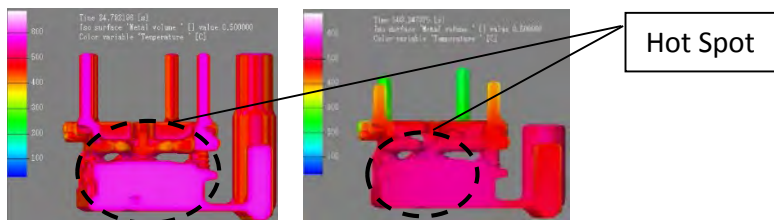
**Gambar 6.7** Model 3D sistem 3 saluran pada simulasi *flow cast*



**Gambar 6.8** Cacat *shrinkage* pada sistem tiga saluran

Dari gambar 6.8 menunjukkan yakni dari 2 sistem saluran menjadi 3 sistem saluran didapatkan masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total yakni sebesar 3.36 %, dibandingkan dengan sistem 1 saluran dan 2 saluran lebih tinggi yakni 3.01 % dan 2.88%. Secara teori, dan mengacu penelitian

oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :

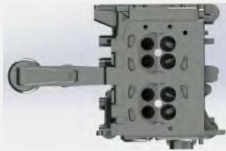

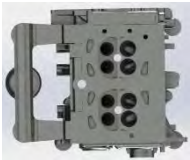
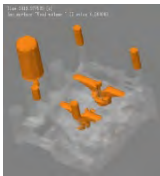
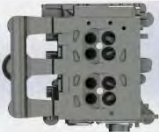
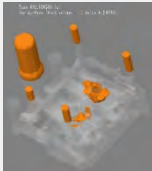


**Gambar 6.9** Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b).

Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 24.792 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 560$  °C dan pada bagian luar  $\pm 510$  °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 275.685 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 560$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan dapat disimpulkan bahwa rancangan pada sistim 3 saluran masih kurang maksimal. Dan hasil data yang didapat dari perhitungan simulasi didapat presentase *shrinkage* 3.36 %.

Dari hasil ketiga simulasi diatas dapat dirangkum dalam tabel sebagai berikut :

**6.1 Tabel Hasil Simulasi Cacat *Shrinkage***

Jenis	Perancangan Sistem Saluran	Pengecoran Secara Simulasi	Presentase Cacat Shringkage (%)
1 Saluran			3.06
2 Saluran			2.88
3 Saluran			3.36

Keterangan Warna Pada Hasil Simulasi :



: *Shringkage*



: Produk Cor

Dari tabel 6.1 didapatkan data hasil simulasi perbandingan eksperimen ke 3 sistem saluran, untuk pengecoran dengan sistem 1 saluran didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 3.06 %.sedangkan pada pengecoran sistem 2 saluran didapatkan cacat shrinkage sebesar 2.88% lebih kecil dari pengecoran dengan sistem 1 saluran. Seperti pada refrensi yakni oleh **Bhupendra J. Chudasama (2013)**, yakni tentang SOLIDIFICATION ANALYSIS and OPTIMIZATION USING PRO-CAST, didapatkan cacat *shrinkage* pada benda cor secara eksperimen lebih kecil dari pengecoran secara simulasi. Sedangkan untuk secara simulasi dengan komposisi material yang sama dengan material alumunium ADC 12 dengan sistem 1 saluran terdapat cacat 3.06 % sedangkan sistim 2 saluran terdapat cacat 2.88%, hal ini dapat disimpulkan bahwa pengecoran sudah sesuai dengan dasar teori.

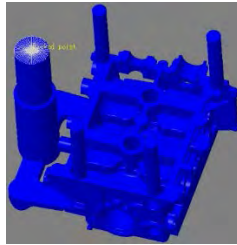
Pada pengecoran dengan sistim 3 saluran didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 3.36 % lebih besar dari sistem 1 saluran dan sistem 2 saluran, ini membuktikan bahwa sistim 2 saluran lebih baik dari sistem 1 saluran dan sistem 3 saluran. Maka diambil salah satu dari ke tiga system saluran yang paling sedikit terjadinya cacat yaitu sistim 2 saluran dengan presentase cacat 2.88%, untuk memperkecil cacat *shrinkage* pada system tersebut maka diperlukan modifikasi diameter riser yang terletak pada *open riser* sehingga cacat pada produk cor dapat dihindari dengan maksimal.

## **6.2 Optimalisasi Mengurangi Cacat Penyusutan Pada Sistem 2 Saluran Pada Diameter Open Riser**

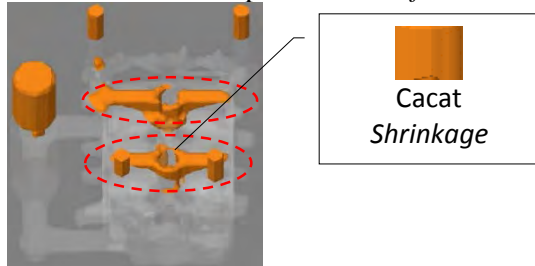
### **6.2.1 Simulasi Sistem 2 Saluran Dengan Open Riser $\phi$ 20 mm**

Dimensi pada sistem dua saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari sprue dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, *gating area* dengan luasan 637.5 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 25 mm dan lebar 25 mm, memiliki empat *top riser* pada produk cor dengan diameter 20 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah alumunium ADC 12 standard dengan properti mengacu pada

software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistem satu saluran. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :

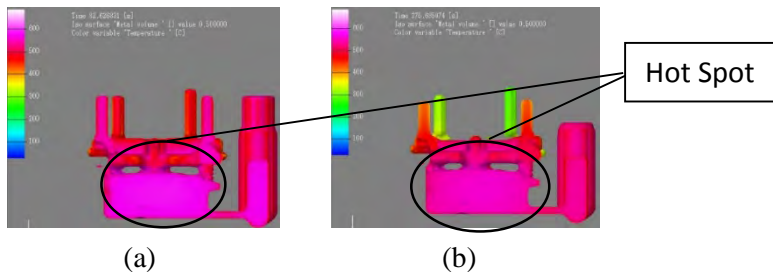


**Gambar 6.10** Model 3D sistem 2 saluran pada simulasi *flow cast*



**Gambar 6.11** Cacat *shrinkage* pada sistem dua saluran diameter top riser 20 mm

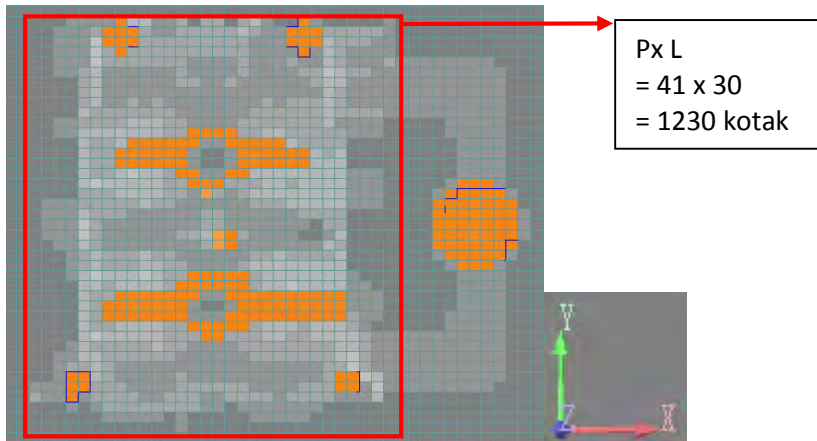
Dari gambar diatas menunjukkan yakni dengan open riser diameter 20 mm masih didapatkan cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total secara simulasi yakni sebesar 2,71 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :



**Gambar 6.12** Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b).

Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 82.62831 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 560$  °C dan pada bagian luar  $\pm 510$  °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 275.685 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 560$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan dapat disimpulkan bahwa rancangan pada sistim 2 saluran masih kurang maksimal. Dan hasil data yang didapat dari perhitungan simulasi, didapat presentase cacat *shrinkage* 2.71 % dan perhitungan secara manual didapatkan perhitungan cacat penyusutan 1.00%.

### 6.2.1.1 Contoh Cara Perhitungan Open Riser $\phi$ 20 mm



**Gambar 6.13** Cacat *shrinkage* tampak atas dalam bentuk *cube view*

Untuk pandangan atas :

Total kotak keseluruhan pada crankshaft = 1230 kotak

Total kotak *shrinkage* warna oranye = 117 kotak

Luas permukaan = 30451.85 mm<sup>2</sup>

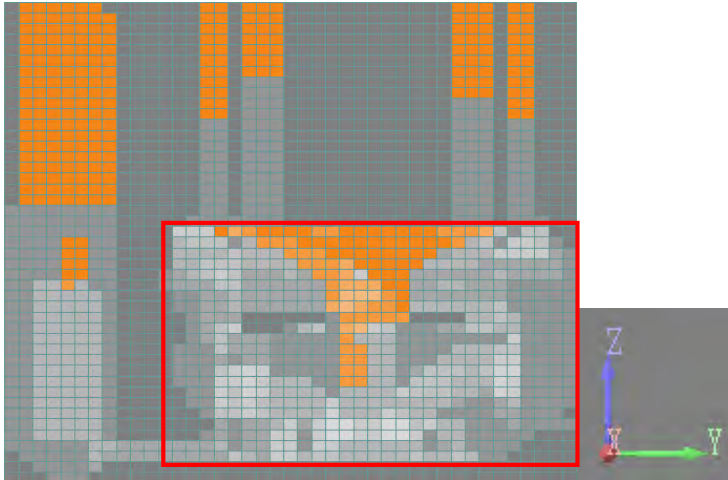
Sehingga luasan *shrinkage* pada pandangan atas :

$$\frac{117}{1230} = \frac{X}{30451,85}$$

$$X = \frac{117 \times 30451,85}{1230}$$

$$X = 2896.639 \text{ mm}^2$$





**Gambar 6.14** Cacat *shrinkage* tampak samping dalam bentuk *cube view*

Untuk pandangan depan :

- Ukuran panjang sebenarnya = 224.40 mm
- Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Y = 36 kotak
- Total ukuran tinggi sebenarnya = 121 mm
- Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z = 93 kotak

Sehingga tinggi untuk 1 kotak didapatkan :

$$\frac{1}{36} = \frac{X}{121}$$

$$X = \frac{1 \times 121}{36}$$

$$X = 3.36 \text{ mm}$$

Rata-rata tinggi shrinkage berwarna oranye :

$$\frac{\text{Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z}}{\text{Total kotak sepanjang sumbu Y}} = \frac{93}{36} \\ = 2.58$$

$$\text{Maka didapatkan tinggi total kotak berwarna oranye} = 2.58 \times 3.36 \\ = 8.68$$

$$\text{Maka didapatkan luasan shrinkage} = 8.68 \times 2896.639 \text{ mm}^2 \\ = 25142.82 \text{ mm}^2$$

Jadi volume cacat *shrinkage* yang terjadi pada benda kerja (*cylinder head*) yakni sebesar :

$$V_{\text{shrinkage}} \\ = \frac{\text{luasan cacat shrinkage pandangan atas} \times \text{rata-rata tinggi kotak warna oranye}}{\text{volume crankshaft total}} \times 100\%$$

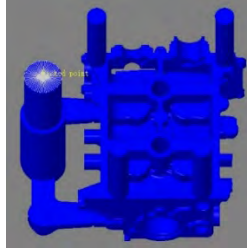
$$V_{\text{shrinkage}} = \frac{25142.82 \text{ mm}^2}{2503167.39} \times 100 \%$$

$$V_{\text{shrinkage}} = 1.00 \%$$

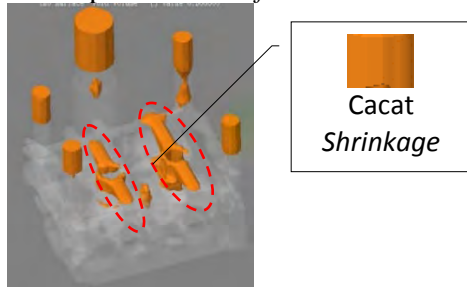
## 6.2.2 Simulasi Sistem 2 Saluran Dengan Open Riser ø 25 mm

Variabel pada sistem satu saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari sprue dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, luasan *ingate* yakni 637.5 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 25 mm dan lebar 25 mm, dengan empat riser pada posisi *top riser* diameter 25 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah aluminium ADC 12 standard dengan properti mengacu pada software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang

pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistim satu saluran. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :

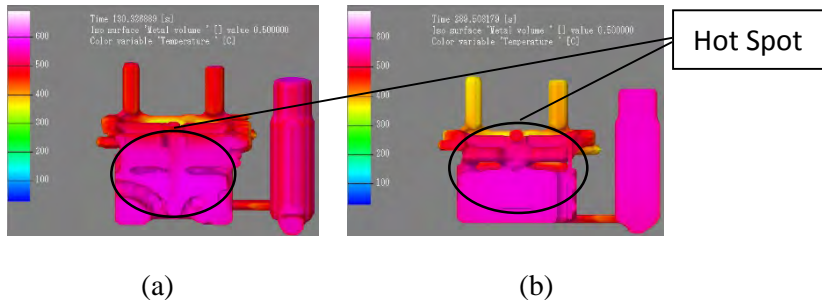


**Gambar 6.15** Model 3D sistem 2 saluran dengan *open riser* diameter 25mm pada simulasi *flow cast*



**Gambar 6.16** Cacat *shrinkage* pada sistem dua saluran diameter *open riser* 25 mm

Dari gambar 6.7 menunjukkan yakni dengan diameter open riser sebesar 25 mm masih didapatkan terjadi cacat penyusutan (*shrinkage*) pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total yakni sebesar 3.18 %, dibandingkan dengan pembesaran open riser diameter 20 mm lebih rendah yakni 2.71 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi diameter *riser* yang kurang besar untuk memberikan tekanan, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut:



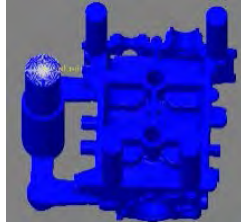
**Gambar 6.17** Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b).

Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 130.3268 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 560$  °C dan pada bagian luar  $\pm 400$  °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 289.5081 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 560$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan dapat disimpulkan bahwa rancangan open riser dengan diameter 25 mm masih kurang optimal. Dan hasil data yang didapat dari perhitungan simulasi presentase cacat *shrinkage* sebesar 3.18 % dan perhitungan secara manual didapatkan perhitungan cacat penyusutan 1.51%.

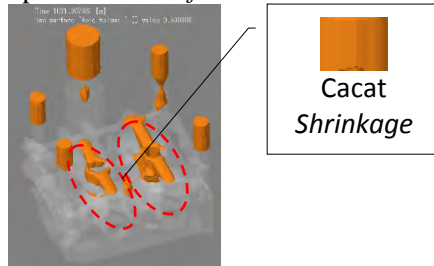
### 6.2.3 Perhitungan open riser diameter 30 mm

Variabel pada sistem dua saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari sprue dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, luasan *ingate* yakni 637.5 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 25 mm dan lebar 25 mm dengan empat riser pada posisi *top riser* diameter 30 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah aluminium ADC 12 standard dengan properti mengacu pada

software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistem satu saluran. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :

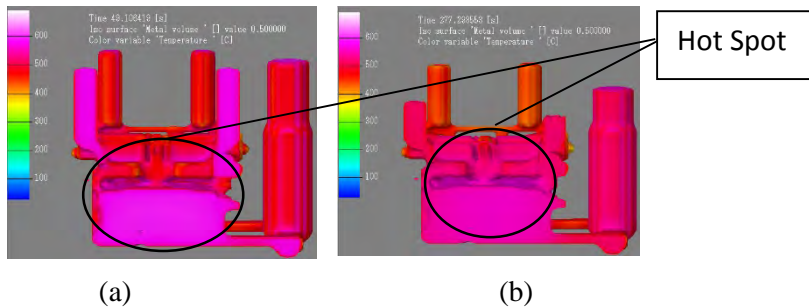


**Gambar 6.18** Model 3D sistem 2 saluran dengan top riser diameter 30 mm pada simulasi *flow cast*



**Gambar 6.19** Cacat *shrinkage* pada sistem dua saluran diameter top riser 30 mm

Dari gambar diatas 6.11 yakni dengan diameter open riser sebesar 30 mm masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total yakni sebesar 3.28 %, lebih rendah dibandingkan dengan diameter open riser 25 mm yakni 3.18 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* yang kurang besar untuk memberikan tekanan, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :



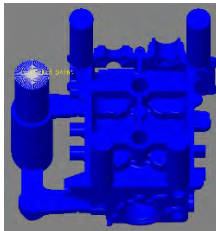
**Gambar 6.20** Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b).

Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 49.1064 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 560$  °C dan pada bagian luar  $\pm 500$  °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 277.298 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 450$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan disimpulkan bahwa rancangan open riser dengan diameter 30 mm masih kurang optimal. Hasil data yang didapat dari dapat dari perhitungan simulasi presentase cacat *shrinkage* sebesar 3.28% dan perhitungan secara manual, cacat *shrinkage* sebesar 1.08 %.

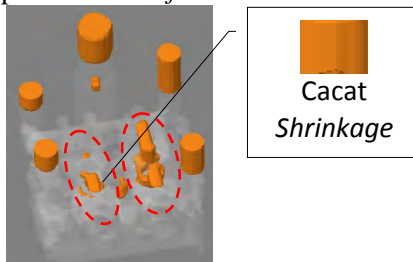
#### 6.2.4 Perhitungan open riser diameter 35 mm

Variabel pada sistem dua saluran ini tidak ada yang diubah yaitu dimulai dari sprue dengan diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, luasan *ingate* yakni 637.5 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 35 mm dan lebar 25 mm dengan empat riser pada posisi *top riser* diameter 30 mm dan tinggi 115 mm. Perubahan dimensi dapat dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah aluminium ADC 12 standard dengan properti mengacu pada software. Simulasi pengecoran dengan *software flow casting* yang pertama dilakukan yakni dengan menggunakan sistim satu saluran.

Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, dan *riser* seperti pada gambar berikut :

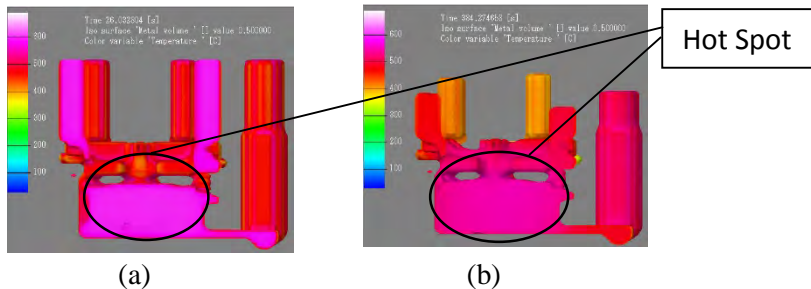


**Gambar 6.21** Model 3D sistem 2 saluran dengan top riser diameter 35 mm pada simulasi *flow cast*



**Gambar 6.22** Cacat *shrinkage* pada sistem dua saluran diameter top riser 30 mm

Dari gambar diatas 6. yakni dengan diameter open riser sebesar 35 mm masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor meskipun masih terlihat lebih baik dibandingkan dengan diameter open riser yang lain tetapi ukuran open riser tidak memenuhi standar, dengan persentase cacat total yakni sebesar 3.06 %, lebih rendah dibandingkan dengan diameter open riser 30 mm yakni 3.28 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* yang kurang besar untuk memberikan tekanan, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :

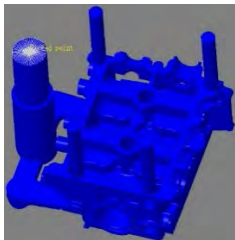


**Gambar 6.23** Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b).

Dari gambar a dan b potongan produk cor dapat diketahui bahwa pada kondisi masih cair yakni pada waktu 26.032804 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperature temperatur  $\pm 560$  °C dan pada bagian luar  $\pm 510$  °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada gambar b 384.274658 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur  $\pm 420$  °C. Hal ini mengindikasikan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *cylinder head*, dan disimpulkan bahwa rancangan open riser dengan diameter 35 mm masih lebih baik dibandingkan dari rancangan ke tiga diameter open riser yang telah disimulasikan. Hasil data yang didapat dari dapat dari perhitungan simulasi presentase cacat *shrinkage* sebesar 3.06% dan perhitungan secara manual, cacat *shrinkage* sebesar 0.5%.



**Tabel 6.2** Hasil Presentase Cacat Penyusutan 2 Sistem Saluran

No	Jenis Saluran	Gambar	Diameter Open Riser ( $\phi$ )	Presentase Cacat Penyusutan (%)
1	2 Saluran		20	1.00
2	2 Saluran		25	1.51
3	2 Saluran		30	1.08
4	2 Saluran		35	0.5

Dari tabel 6.2 didapatkan data perhitungan perbandingan eksperimen dengan perbedaan masing-masing diameter pada metode open riser diameter untuk pengecoran yang pertama dengan diameter open risern didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 1.00 %.sedangkan setiap penambahan 5 mm pada setiap diameter pada pengecoran dengan open riser diameter 25 mm masih didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 1.51% lebih besar dari diameter open riser 20 mm yakni 1.00%, kemudian open riser diameter 30 mm didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 1.08% lebih rendah dibandingkan diameter open riser diameter 25 mm, dan diameter open riser diameter 35 mm didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 0.5 % lebih rendah dibandingkan rancangan ketiga diameter yang telah dibuat.Seperti pada refrensi yakni oleh **Bhupendra J. Chudasama (2013)**, yakni tentang SOLIDIFICATION ANALYSIS and OPTIMIZATION USING PRO-CAST, didapatkan cacat *shrinkage* pada benda cor secara eksperimen lebih kecil dari pengecoran secara simulasi.

## **BAB 7**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian, analisa dan simulasi percobaan didapatkan beberapa

kesimpulan diantara lain sebagai berikut :

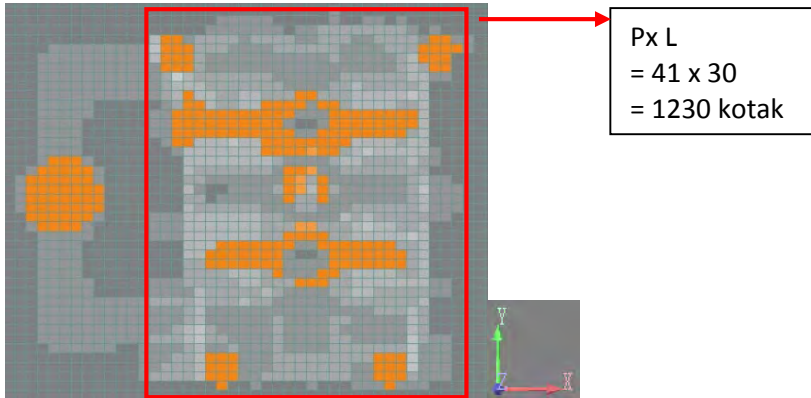
1. Pada simulasi system satu saluran presentase cacat *shrinkage* sebesar 3.06%, simulasi system dua saluran presentase cacat *shrinkage* 2.88%, dan simulasi system tiga saluran presentase cacat *shrinkage* 3.36%.
2. Dari ketiga system saluran, didapatkan cacat yang paling sedikit adalah dua system saluran dengan presentase cacat *shrinkage* 2.88%.
3. Dengan menggunakan system 2 saluran optimalisasi dalam mengurangi cacat berdasarkan perhitungan manual maka didapat dimensi yang sesuai yaitu open riser diameter 35 mm dengan dimensi pada sprue diameter 50 mm dan tinggi 225 mm, *runner* dengan luasan 637.5 mm<sup>2</sup> didapatkan panjang 25 mm dan lebar 25 mm, didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 0.5 %.
4. Pelaksanaan pada proses pengecoran menggunakan system dua saluran sudah efisien.
5. Setelah dilakukan pengamatan secara visual dari hasil proses permesinan pengecoran *cylinder head* ,terdapat cacat pada permukaan produk cor berupa retakan di sekeliling kedudukan *cam* yang diakibatkan tarikan dari penyusutan.

## 7.2 Saran

1. Pengecoran *cylinder head* 650 cc SINJAI (Mesin Jawa Timur) perlu dikembangkan lagi kedepannya dalam segi teknologi pengecorannya agar mendapatkan kualitas pengecoran yang baik dan selain itu mempertimbangkan hasil coran dengan simulasi dimana dijadikan batasan masalah dalam penelitian.
2. Mengembangkan software pengecoran untuk dapat menghitung cacat *shrinkage* hanya pada daerah tertentu secara otomatis.

## LAMPIRAN

### Contoh Cara Perhitungan Open Riser $\phi$ 25 mm



**Gambar 6.8** Cacat *shrinkage* tampak atas dalam bentuk *cube view*

Untuk pandangan atas :

Total kotak keseluruhan pada crankshaft = 1230 kotak

Total kotak *shrinkage* warna oranye = 155 kotak

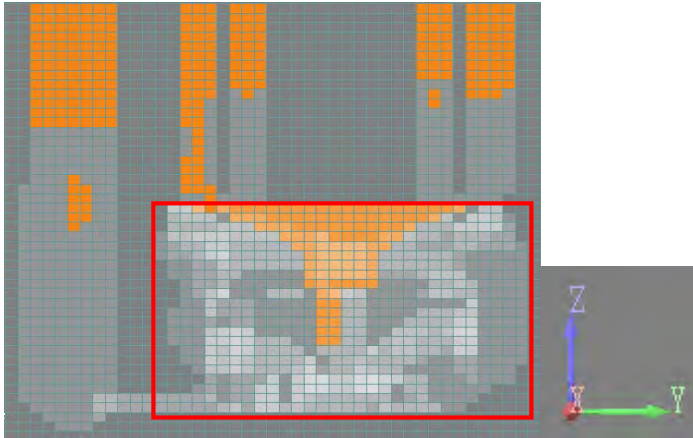
Luas permukaan = 30451.85 mm<sup>2</sup>

Sehingga luasan *shrinkage* pada pandangan atas :

$$\frac{155}{1230} = \frac{X}{30451,85}$$

$$X = \frac{155 \times 30451,85}{1230}$$

$$X = 4720 \text{ mm}^2$$



**Gambar 6.9** Cacat *shrinkage* tampak samping dalam bentuk *cube view*

Perhitungan untuk pandangan depan :

- Ukuran panjang sebenarnya = 224.40 mm
  - Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Y = 40 kotak
  - Total ukuran tinggi sebenarnya = 121 mm
  - Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z = 106 kotak
- Sehingga tinggi untuk 1 kotak didapatkan :

$$\frac{1}{40} = \frac{X}{121}$$

$$X = \frac{1 \times 121}{40}$$

$$X = 3.025 \text{ mm}$$

Rata-rata tinggi shrinkage berwarna oranye :

$$\frac{\text{Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z}}{\text{Total kotak sepanjang sumbu Y}} = \frac{106}{40}$$

$$= 2.65$$

Maka didapatkan tinggi total kotak berwarna oranye

$$= 2.65 \times 3.025$$

$$= 8.016$$

Maka didapatkan luasan *shrinkage* =  $8.016 \times 4720 \text{ mm}^2$

$$= 37836.7 \text{ mm}^2$$

Jadi volume cacat *shrinkage* yang terjadi pada benda kerja (*cylinder head*) yakni sebesar

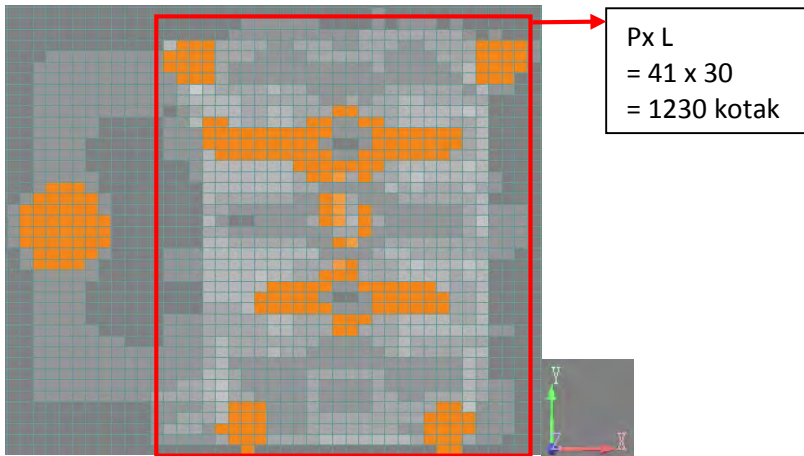
$$V_{shrinkage}$$

$$= \frac{\text{luasan cacat } shrinkage \text{ pandangan atas x rata-rata tinggi kotak warna oranye}}{\text{volume crankshaft total}} \times 100\%$$

$$V_{shrinkage} = \frac{37836.7 \text{ mm}^2}{2503167.39} \times 100 \%$$

$$V_{shrinkage} = 1.51 \%$$

### Contoh Cara Perhitungan Open Riser $\phi$ 30 mm



**Gambar 6.12** Cacat *shrinkage* tampak atas dalam bentuk *cube view*

Untuk perhitungan pandangan atas :

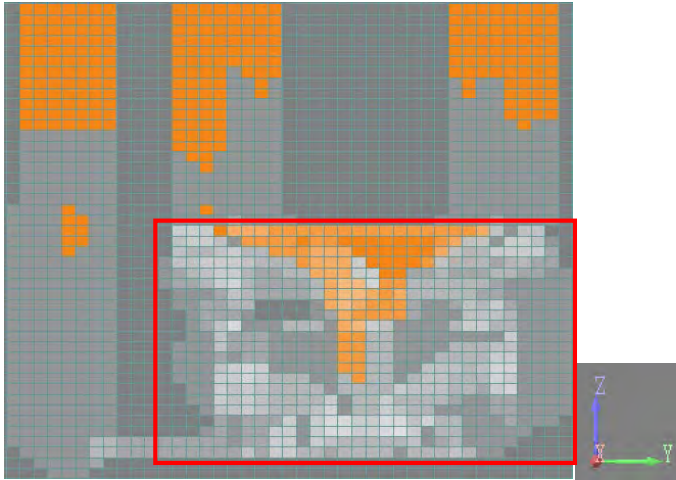
- Total kotak keseluruhan pada crankshaft = 1230 kotak
- Total kotak *shrinkage* warna oranye = 122 kotak
- Luas permukaan = 30451.85 mm<sup>2</sup>

Sehingga luasan *shrinkage* pada pandangan atas :

$$\frac{122}{1230} = \frac{X}{30451,85}$$

$$X = \frac{122 \times 30451,85}{1230}$$

$$X = 3020.42 \text{ mm}^2$$



**Gambar 6.13** Cacat *shrinkage* tampak samping dalam bentuk *cube view*

Untuk pandangan depan :

- Ukuran panjang sebenarnya = 224.40 mm
- Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Y = 36 kotak
- Total ukuran tinggi sebenarnya = 121 mm
- Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z = 96 kota

Sehingga tinggi untuk 1 kotak didapatkan :

$$\frac{1}{36} = \frac{X}{121}$$

$$X = \frac{1 \times 121}{36}$$

$$X = 3.36 \text{ mm}$$

Rata-rata tinggi *shrinkage* berwarna oranye :

$$\frac{\text{Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z}}{\text{Total kotak sepanjang sumbu Y}} = \frac{96}{36}$$

$$= 2.66$$



Maka didapatkan tinggi total kotak berwarna oranye =  $2.66 \times 3.36$   
 $= 8.96$

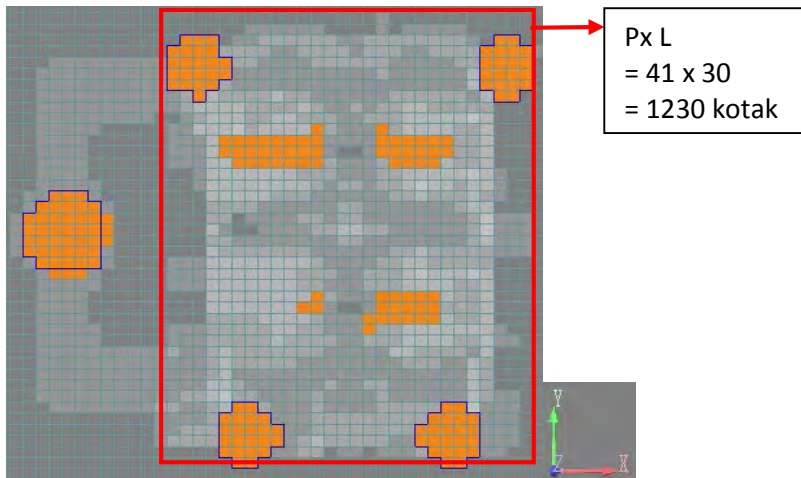
Maka didapatkan luasan *shrinkage* =  $8.96 \times 3020.42 \text{ mm}^2$   
 $= 27062.96 \text{ mm}^2$

Jadi volume cacat *shrinkage* yang terjadi pada benda kerja (*cylinder head*) yakni sebesar :

$$V_{shrinkage} = \frac{27062.96 \text{ mm}^2}{2503167.39} \times 100 \%$$

$$V_{shrinkage} = 1.08 \%$$

### Contoh Cara Perhitungan Open Riser $\phi 35 \text{ mm}$



**Gambar 6.12** Cacat *shrinkage* tampak atas dalam bentuk *cube view*

Untuk perhitungan pandangan atas :

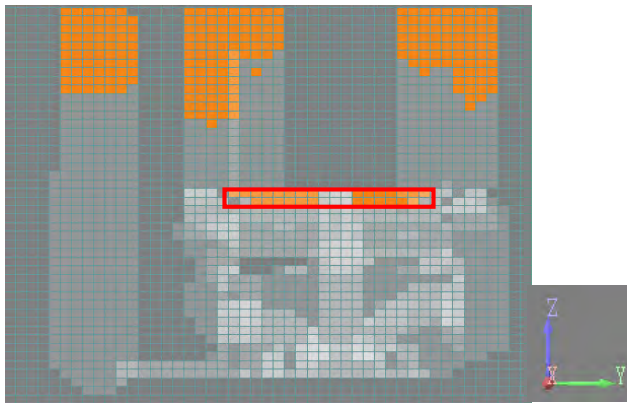
- Total kotak keseluruhan pada crankshaft = 1230 kotak
- Total kotak *shrinkage* warna oranye = 61 kotak
- Luas permukaan = 30451.85 mm<sup>2</sup>

Sehingga luasan *shrinkage* pada pandangan atas :

$$\frac{61}{1230} = \frac{X}{30451,85}$$

$$X = \frac{61 \times 30451,85}{1230}$$

$$X = 1510,21 \text{ mm}^2$$



Untuk pandangan depan :

- Ukuran panjang sebenarnya = 224.40 mm
- Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Y = 18 kotak
- Total ukuran tinggi sebenarnya = 121 mm
- Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z = 54 kota

Sehingga tinggi untuk 1 kotak didapatkan :

$$\frac{1}{18} = \frac{X}{121}$$

$$X = \frac{1 \times 121}{18}$$

$$X = 6.72 \text{ mm}$$

Rata-rata tinggi *shrinkage* berwarna oranye :

$$\frac{\text{Total kotak shrinkage sepanjang sumbu Z}}{\text{Total kotak sepanjang sumbu Y}} = \frac{54}{18} \\ = 3$$

$$\text{Maka didapatkan tinggi total kotak berwarna oranye} = 3 \times 1.5 \\ = 4.5$$

$$\text{Maka didapatkan luasan shrinkage} = 4.5 \times 3020.42 \text{ mm}^2 \\ = 13591,89 \text{ mm}^2$$

Jadi volume cacat *shrinkage* yang terjadi pada benda kerja (*cylinder head*) yakni sebesar :

$$V_{shrinkage} = \frac{13591.89 \text{ mm}^2}{2503167.39} \times 100 \%$$

$$V_{shrinkage} = 0.54 \%$$